

DIE KINETISCHE ENERGIE DES PLANETARISCHEN WIRBELS
UND IHRE JÄHRLICHE VARIATION

von
Heinrich Andreas Strunk

DOI 10.32 89/IFM-BER-81

Kopien dieser Arbeit können bezogen werden von

Institut für Meereskunde
Abteilung Maritime Meteorologie

Düsternbrooker Weg 20
D 2300 Kiel 1

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Die Datengrundlage der vorliegenden Untersuchung	2
3. Theoretische Grundlagen zur Bestimmung der zonalen kinetischen Energie K_z	7
3.1. Überblick	7
3.2. Definition der zonalen kinetischen Energie	8
3.3. Die Zerlegung der Energiegröße K in spezielle Anteile K_z und K_E	9
3.4. Der verfeinerte LORENZ'sche Energiezyklus	9
3.5. Der Energiezyklus nach LORENZ in Tropo- und unterer Stratosphäre	12
4. Integrationsverfahren für K_z	13
4.1. Kontinuierliche Integration von K_z	13
4.2. Integration über fünf meteorologisch bedeutsame Schichten der Atmosphäre in der Vertikalen	16
4.3. Integration getrennt über Tropo- und Stratosphäre sowie für deren Ost- und Westwindbereich	17
4.4. Integration über die kinetische Energie in den drei wichtigsten Hauptluftkörpern der Troposphäre (polar, gemäßigt, tropisch)	18
5. Ergebnisse der Untersuchung	19
5.1. Die 12 mittleren Meridionalschnitte der zonalen kinetischen Energie K_z	19
5.2. Die jährliche Variation der Menge von K_z in sinnvoll gewählten Bereichen der Atmosphäre	57
5.2.1. Der Jahresgang der totalen Menge von K_z	57
5.2.2. Der Jahresgang von der gesamten Menge von K_z , enthalten in der Tropo- und in der unteren Stratosphäre	57
5.2.3. Der Jahresgang von K_z im Westwind- bzw. Ostwindbereich der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel	59

5.2.4. Der Jahresgang der Mengen von K_z in der Troposphäre separat für ihren Westwind- bzw. Ostwindbereich	62
5.2.5. Der Jahresgang der Mengen von K_z in der Stratosphäre, separat für ihren Westwind- bzw. Ostwindbereich	63
5.3. Die Abhängigkeit der kinetischen Energie K_z von der geographischen Breite in 5 Schichten der Atmosphäre	88
5.3.1. Die Variation der Menge von K_z mit der geographischen Breite für alle 12 Monate des Jahres und die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel	88
5.3.2. Die planetarische Grenzschicht (1000 bis 800 mb)	91
5.3.3. Mittlere Troposphäre (800 bis 400 mb)	93
5.3.4. Obere Troposphäre (400 bis 140 mb), (Strahlstrombereich)	95
5.3.5. Unterer Teil der unteren Stratosphäre (140 bis 50 mb)	97
5.3.6. Oberer Teil der unteren Stratosphäre (50 bis 10 mb)	99
5.4. Jahresgang der Menge von K_z innerhalb der drei Hauptluftmassenbereiche (Polarluftbereich (PL), Bereich der gemäßigten Luft (ML), Tropikluftbereich (TL)) der Troposphäre der Nordhalbkugel	106
6. Zusammenfassung	112
7. Literaturverzeichnis	120
8. Danksagung	121

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Untersuchung systematischer Natur über den energetischen Gehalt der zonal ausgerichteten Grundzirkulation der Atmosphäre (planetarischer Wirbel) versucht eine Lücke zu schließen in der genauen Kenntnis dieser Zirkulation, welcher alle stehenden und fortschreitenden Störungen (Wellen und Wirbel) aller Größenskalen überlagert sind. Der Hauptteil der Untersuchung beinhaltet eine möglichst exakte quantitative Bestimmung der kinetischen Energie K_z der zonalen Grundzirkulation und ihrer Veränderlichkeit im Laufe des Jahres, welche in einfacher Weise aus der Verteilung der geostrophischen Winde u_g in der Atmosphäre gewonnen werden kann:

$$K_z \cong \frac{1}{2} (\bar{u}_g^2) \quad (1)$$

Die Arbeit präsentiert nicht nur die Summenwerte dieser Energieform für das Jahr, die 4 Jahreszeiten und 12 Einzelmonate für die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel aufwärts bis zur 10mb-Fläche auf der Grundlage von 12 mittleren meridionalen Schnitten (ϕ, p) des Windes, über welche vertikal integriert wurde, sondern es wird auch angestrebt, durch eine entsprechende Integration über passend gewählte Breitenzonen bzw. vertikale Teilstücke der Atmosphäre die meteorologisch interessierenden Unterschiede in diesen einzelnen Teilbereichen sowohl in der Troposphäre als auch in der unteren Stratosphäre quantitativ aufzuzeigen. Die kinetische Energie wird durch Energieumwandlung aus dem weitaus größeren Reservoir der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z erzeugt. Die exakte Bestimmung dieser Energieform ist Inhalt einer in ihrem Aufbau weitgehend analogen Arbeit von H.-G. EBBRECHT (Diplomarbeit, Institut für Meereskunde, 1980). Derartige energetische Umsetzungen werden in einem eigenen Kapitel über die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit noch später behandelt werden. Der nachfolgende Abschnitt erläutert zunächst die Datengrundlage für die vorliegende Untersuchung.

2. DIE DATENGRUNDLAGE DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG

Als Grundlage für die Untersuchung dienten zwölf mittlere meridionale Querschnitte der Lufttemperatur separat für jeden Monat des Jahres. Diese Schnitte erstrecken sich vom Äquator bis zum Nordpol und vom Erdboden aufwärts bis zur 10mb-Fläche (ca. 30 km Höhe). Sie wurden durch Fr. DEFANT (1972) hergestellt, und die als Datengrundlage dienenden Mittelwerte der Lufttemperatur beruhen auf folgenden Datensätzen:

1. Monatsmittelwerte und Jahresmittelwerte der Lufttemperatur T , der Taupunkttemperatur T_t sowie der geopotentiellen Höhe ϕ für alle Radiosondenstationen der Nordhalbkugel (insgesamt 252 Stationen) und für alle Standarddruckflächen aufwärts bis zur 100mb-Fläche ohne Bodenwerte (siehe WMO, OMM 8No. 17o T.P.84; 1965). Diese Veröffentlichung enthält über 10 Jahre gemittelte Werte für die Dekade 1951 bis 1960.
2. Diese monatlichen Mittelwerte wurden für jede Standarddruckfläche separat und für die Monate Januar, Februar und März in hemisphärische Karten eingetragen und einer sorgfältigen synoptischen Analyse unterzogen (Fr. DEFANT, 1969). Diesen Analysen wurden anschließend Gitterwerte der Temperatur für alle $2,5^\circ$ abständigen Breitenkreise entnommen und dieselben dann zonal gemittelt.
3. Um den großen Arbeitsaufwand bei dieser Art von manuellen Analyseverfahren mit anschließender Gitterwertsentnahme zu verkürzen, wurde in der Abteilung Meteorologie des Instituts für Meereskunde, Kiel, ein maschinelles Analyseprogramm entworfen, welches eine horizontale Feldanalyse der Temperatur auf jeder Standarddruckfläche durchzuführen gestattet, zusammen mit allen anschließend benötigten Rechenschritten. Für alle zwölf Monate des Jahres wurden dann in dieser Weise auf einer EDV-Anlage des Kieler Rechenzentrums Horizontal-Analysen hergestellt und zonale Mittelwerte der Lufttemperatur berechnet. Für drei Monate (Januar, Februar, März) wurde ein Vergleich zwischen den

Werten nach beiden Methoden vorgenommen, welcher nur geringe und tolerable Unterschiede ergab.

4. Für die Schicht oberhalb der 100mb-Fläche aufwärts bis zur 10mb-Fläche hat das Institut für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität Berlin in dankenswerter Weise zonal gemittelte Lufttemperaturwerte für mehrere Standarddruckflächen in der unteren Stratosphäre zur Verfügung gestellt.
5. Für den Erdboden wurden noch längerjährig solche Mitteltemperaturen aus verschiedenen Quellen gesammelt und daraus ein in sich geschlossenes Bild des Jahresganges der zonal gemittelten Temperatur in der Nordhalbkugel gewonnen (siehe Fr. DEFANT, 1978, p. 104). Ähnlich wurde ein für alle Monate des Jahres vorliegendes Material von zonal gemittelten Bodenluftdruckwerten herangezogen (siehe DINIES, 1968); Mittelungszeitraum: 68 Jahre (1899 bis 1967), 20°N bis Nordpol und SCHERHAG (1969), Mittelungszeitraum: 10 Jahre (1951 bis 1960), 0° bis 20°N).
6. Alle längerzeitlich verfügbare Information über die zonal gemittelte Lufttemperatur in der Nordhemisphäre wurde für alle $2,5^{\circ}$ abständigen Breiten zu vertikalen Temperaturprofilen auf thermodynamischen Diagrammpapieren zusammengefaßt (separat für jeden Monat). In diesen Profilen wurde die mittlere Höhenlage der Tropopause, getrennt nach der primären tropischen - nahe 90 bis 100 mb - und der sekundären tropischen - zwischen etwa 160 bis 190 mb südlich des Hauptwindmaximums (Subtropenjet) -, der Tropopause der gemäßigten Breiten - zwischen 210 und etwa 280 mb - und schließlich der polaren, etwas oberhalb bzw. unterhalb von 300 mb, festgelegt. Im Anschluß daran sind für viele Druckflächen auch horizontale Temperaturprofile gezeichnet worden, um in der Troposphäre die ungefähren klimatologisch mittleren Grenzen der Subtropen- bzw. der Polarfront zu ermitteln, die natürlich für jeden Monat in unterschiedlicher Breite in Erscheinung treten.

Schließlich wurden alle Meridionalschnitte flächenanalyisiert, wobei streng auf eine logische Aufeinanderfolge

des Feldes von Monat zu Monat geachtet wurde. Vier derartige Schnitte (Januar, April, Juli, Oktober) als Beispiele sind von Fr. DEFANT (1978) präsentiert und dort im Detail besprochen worden.

7. In einem weiteren Schritt wurden für viele Druckflächen
 - (a) in der Troposphäre: 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 350, 300, 280, 260, 240, 220, 200 und von 190 bis 100 mb in 10 mb Intervallen sowie auch
 - (b) in der unteren Stratosphäre: 90, 80, 70, 60, 50, 40, 35, 30, 35, 30, 17,5, 15, 12,5 und 10 mb aus den auf diesen Flächen vorliegenden horizontalen Temperaturprofilen Temperaturwerte für jeden Breitengrad nach sorgfältiger Interpolation entnommen.

Diese Werte bilden dann den Ausgang für die Berechnung der geopotentiellen Höhen, aus welchen dann später die geostrophischen Winde berechnet wurden.

8. Schließlich wurden die zonal und längerzeitlich gemittelten Werte der spezifischen Feuchte q , welche OORT und RASSMUSSEN 1971 veröffentlicht haben, sorgfältig interpoliert und im Jahresablauf homogenisiert. Diese Feuchte-daten dienten zur Berechnung der virtuellen Temperatur.
9. Anschließend wurde eine geopotentielle Höhenrechnung unter Anwendung der barometrischen Höhenformel in der Form:

$$\Delta\phi[\text{gpm}] = 67,442 (273,16 + t'_{m_v}) \log_{10} \frac{p_1}{p_2} \quad (2)$$

auf der EDV-Anlage durchgeführt. Hierin bedeuten p_1 den Wert der unteren und p_2 den Wert der oberen Druckfläche ($p_1 > p_2$), ferner ist t'_{m_v} die mittlere virtuelle Temperatur, wobei der Strich $'_{m_v}$ anzeigt, daß hierbei auf die variable Kompressibilität der Luft Rücksicht genommen wurde. Formel (2) wurde den Smithsonian Tables 6, ed, LIST, Smithsonian Institution Press Washington USA (1971) entnommen.

10. Nachdem alle diese Schritte ausgeführt waren, konnte die Berechnung der mittleren zonalen Windverteilung in Angriff genommen werden. Hierzu diente die geostrophische Windbeziehung

$$u_g = - \frac{1}{f} \frac{\Delta \phi}{\Delta y} = - \frac{1}{f} \frac{\Delta \phi}{a \Delta \phi} \quad (3)$$

$f=2\omega \sin \phi$ ist der Coriolisparameter und Δy ein Breitenstück auf der Erdkugel (mit mittlerem Erdradius $a=6371$ km).

$\omega=\text{const}=7,292 \text{ mal } 10^{-5}$ ist die Winkelgeschwindigkeit der Erde und ϕ die geographische Breite. Bei Anwendung der Formel (3) wurden als Breitenintervalle 5 Breitengrade gleich 555,685 km gewählt, die Niveaus 275, 250 und 225 mb wurden herausgelassen, da sie bei der Vielzahl der Druckflächen kaum zusätzliche Informationen liefern.

11. Die so durchgeführten maschinellen Rechnungen an der Anlage X8 des Rechenzentrums der Universität Kiel mußten auf die Breitenzone zwischen 20° und 90°N beschränkt bleiben, da die geostrophische Windbeziehung im Äquatorialen Bereich wegen der Abnahme des Coriolis-Parameters in Richtung zum Äquator unrealistisch große Werte liefert. Eine weitere Einschränkung der Gültigkeit der Formel (3) ist jene, daß sie streng nur auf ebenen Flächen gilt und es in natürlichen Koordinaten noch eines Zusatztermes für die Beschleunigung bedarf. In die geostrophische Windbeziehung wird noch ein Krümmungsterm eingeführt (normale Gleichung der Bewegung in natürlichen Koordinaten, siehe HOLMBOE, 1952, p. 150):

$$K_H u^2 + 2\omega \sin \phi u = - \frac{\partial \phi}{a \partial \phi} \quad * \quad (4)$$

Die folgenden Umformungen führen zur Lösung (5) dieser Gleichung:

$$u^2 + \frac{2\omega \sin \phi}{K_H} u = - \frac{1}{a K_H} \frac{\partial \phi}{\partial \phi} \quad \text{und}$$

$$u^2 - u_1 u = u_c^2 = - u_g \cdot u_1$$

$$u = u_1 \pm \frac{\sqrt{u_1^2 - 4 u_1 u_g}}{2} \quad (5)$$

wobei $u_1 = - \frac{f}{K_H}$ und $u_c^2 = - u_g u_1 = - \frac{\partial \phi}{a \partial \phi} \left(\frac{1}{K_H} \right)$ bedeuten.

In eine Reihe entwickelt ergibt sich hieraus die Gleichung (6), aus der sich, wenn die mit Hilfe der Gleichung (3) gewonnenen rein geostrophischen Winde eingesetzt werden, die wahren Winde u mit Hilfe des geostrophischen Windes u_g bestimmen lassen.

* Hierin ist die Krümmatur K_H nur von der geographischen Breite abhängig:

$$K_H = \frac{1}{a \cos \phi} \quad a = \text{Erdradius}$$

$$u = u_g \pm \frac{u_g^2}{a} \pm \frac{2u_g^3}{a^2} \pm 3 \frac{u_g^4}{a^3} + \dots \quad (6)$$

$$a = \frac{f}{K_H}$$

In dieser Gleichung muß zwischen zwei wesentlichen Fällen unterschieden werden, nämlich dem zyklonischen- und dem antizyklonischen Fall. Für den zyklonischen Fall ($K_H > 0$) gelten die positiven, für den antizyklonischen Fall ($K_H < 0$) die negativen Vorzeichen. Formel (6) zeigt, daß die Abweichung des wahren Windes vom geostrophischen Wind dort am größten ist, wo u_g selbst oder ϕ am größten sind, also in Starkwindzonen bzw. in der Nähe des Poles. Sie betragen aber auch dort kaum mehr als ein bis zwei m/s. Praktische Rechnungen zeigten, daß ein Abbrechen der Formel nach dem u_g^4 -Glied bei weitem hinreichende Genauigkeiten liefert.

Südlich von etwa 20°N konnte der Wind im subtropischen- und tropischen Bereich nicht mehr nach den vorstehend geschilderten Verfahren aus der Neigung der Flächen gleichen Druckes bestimmt werden. Dort wurde die horizontale- und vertikale Windverteilung durch Fr. DEFANT (1979) unter Verwendung von allem bisher verfügbaren Material separat für jeden Monat des Jahres durch eine sorgfältige und systematisch vergleichende Untersuchung bestimmt. Eine Reihe von meteorologischen Datensätzen, gewonnen aus wahren Winden von OORT und RASSMUSSEN, NEWELL und Mitarbeitern und vielen anderen mehr dienten dabei als Datengrundlage.

3. THEORETISCHE GRUNDLAGEN ZUR BESTIMMUNG DER ZONALEN KINETISCHEN ENERGIE K_z

3.1. OBERBLICK

Bei der Bearbeitung der Energetik der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zeigt sich bei einer globalen und langzeitlichen Mittelung, daß das Reservoir der verfügbaren potentiellen Energie A etwa $2,8 \text{ mal } 10^{18} \text{ KJ}$ beträgt, während jenes der kinetischen Energie K nur mit $0,76 \text{ mal } 10^{18} \text{ KJ}$ zu veranschlagen ist. Die Energieumsetzung C zwischen diesen beiden Energiereservoirs ist in der Troposphäre von A nach K gerichtet und beträgt etwa $2,3 \text{ W/m}^2$ (siehe OORT, 1964 oder VAN MIEGHEM, 1973 oder Fr. DEFANT, 1976). Dieser globale Energiezyklus im langzeitlichen Mittel wird noch vervollständigt durch die Erzeugung G der verfügbaren potentiellen Energie als Eingang und die Dissipation D der kinetischen Energie als Ausgang. Diese Erzeugungs- oder Vernichtungsraten sind vom gleichen Betrage wie die Umsetzung C ($2,3 \text{ W/m}^2$).

Will man diesen rohen Energiezyklus verfeinern, so muß man einen Zerlegungsprozeß vornehmen, welcher die zonal ausgerichtete Grundzirkulation von den ihr überlagerten Wellen- und Wirbelstörungen aller synoptisch beobachtbaren Größenskalen trennt. Dazu kommt noch eine intensitätsschwache langzeitlich mittlere Meridionalzirkulation, bestehend aus meridionalen und vertikalen Geschwindigkeitsanteilen. Nur über den tropischen Breiten der Erde (0 bis ca. 30°N) ist diese von größerer Bedeutung (direkt ablaufende HADLEY-Zelle), während sie über den mittleren und nördlichen Breiten kaum aus den aerologischen Daten bestimmbar ist (indirekt ablaufende FERREL-Zelle über den mittleren Breiten und wieder direkt ablaufende schwach ausgeprägte polare Zelle).

3.2. DEFINITION DER ZONALEN KINETISCHEN ENERGIE

Die zonale Grundzirkulation der Atmosphäre, die man durch eine langzeitliche und zonale Mittelung gewinnt, besteht nur aus rein zonalen Winden (u), die entweder aus Westen (Westwinddrift) oder aus Osten (Ostwinddrift) wehen können. Dieser Grundzirkulation kommt ein zonaler Anteil K_z der totalen kinetischen Energie zu, welcher nach der einfachen Formel

$$K_z \cong \int_{\text{Atm}} \frac{1}{2} (\bar{v}_h^\lambda)^2 dm \cong \int_{\text{Atm}} \frac{1}{2} (\bar{u}^\lambda)^2 dm \quad [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (7)$$

aus vorliegenden Windschnitten separat für jeden Monat des Jahres (10-jähriges Mittel) bestimmt werden kann.

$dm = (a^2/g) (\cos \phi) d\lambda d\phi dp$ bezeichnet dabei ein dreidimensionales Massenelement der Atmosphäre. Diese spezielle Energieform K_z wird in dieser Untersuchung im Detail neu berechnet und für gewisse meridionale Teilbereiche als auch vertikale Intervalle durch Integration quantitativ bestimmt. Dabei liegt das Hauptgewicht auf einer Zerlegung des Jahres in 12 Einzelmonate und auf einem 10-jährigen Mittelungszeitraum. Auch wird angestrebt, die quantitativen Rechnungen über die Troposphäre hinaus in vertikaler Richtung auf die untere Stratosphäre auszudehnen. Es darf besonders darauf hingewiesen werden, daß eine größere Anzahl von ähnlichen Untersuchungen deshalb nicht zufriedenstellend sind, weil sie in sehr unterschiedlicher Weise Ergebnisse für K_z vorlegen, welche nur kürzere Mittelungszeiträume (variabel 1 bis 3 oder 4 Jahre) oder in vertikaler Richtung nur die Troposphäre aufwärts bis etwa 100 mb bearbeiten. Auch wenn die beiden speziellen Punkte nicht so eingeschränkt sind (siehe z.B. die Meridionalschnitte von K_z von NEWELL und Mitarbeitern (1969), so werden doch auch in dieser Untersuchung nur 4 Jahreszeitenmittelschnitte präsentiert. Dies soll deutlich machen, daß die vorliegende Untersuchung sich besonders bemüht, ein in sich geschlossenes Bild der Variation von K_z im Ablauf des Jahres, also separat für jeden Einzelmonat desselben, zu gewinnen.

3.3. DIE ZERLEGUNG DER ENERGIEGRÖSSE K IN SPEZIELLE ANTEILE K_Z UND K_E

Eine zonale, meridionale und langzeitliche Mittelbildung einer beliebigen Größe ϵ (z.B. im vorliegenden Falle K_Z) beruht auf den folgenden Formeln:

zonales Mittel:
$$\bar{\epsilon}^\lambda = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\epsilon) d\lambda$$

meridionales Mittel:
$$\bar{\epsilon}^\phi = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} (\epsilon) \cos \phi d\phi$$

zeitliches Mittel:
$$\bar{\epsilon}^t = \frac{1}{T} \int_0^t (\epsilon) dt$$

Durch die Anwendung solcher Mittelungsprozesse zerlegt sich die totale kinetische Energie in zwei wohldefinierte separate Anteile:

$K = K_Z + K_E$, wobei K_E jene kinetische Energiemenge bezeichnet, welche allen synoptisch beobachtbaren Wellen- und Wirbelstörungen zukommt:

$$K_E \approx \int_{Atm} \frac{1}{2} \overline{(w_h^+)^2} dm$$

wobei w^+ die Windabweichung vom zonalen Mittelwert ($-\lambda$) bezeichnet und K_Z jene schon vorstehend definierte Energiemenge ist, welche allein der zonale ausgerichteten Grundzirkulation (Planetarischer Wirbel) zukommt.

3.4. DER VERFEINERTE LORENZsche ENERGIEZYKLUS

Eine solche den synoptischen Gegebenheiten angepaßte Zerlegung für jedes Glied von energetischen Haushaltsgleichungen für die kinetische und verfügbare potentielle Energie führt zu den erweiterten Gleichungen des Energiezyklus von E. LORENZ (1956): (Zerlegung der Gleichung $\partial K / \partial t = + C - D$ mit Verwendung der Kontinuitätsgleichung):

Im Folgenden bezeichnet der Operator $^+$ stets, daß es sich um Abweichungen vom zonalen Mittel (Wellen- und Wirbelstörungen) handelt.

$$\frac{\partial}{\partial t} (K_Z) \approx \frac{\partial}{\partial t} \int_{Atm} \frac{1}{2} (\bar{u}^\lambda)^2 dm = C_Z + T_K - D_Z \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (K_E) \approx \frac{\partial}{\partial t} \int_{Atm} \frac{1}{2} (\bar{v}_h^+)^2 dm = C_E - T_K - D_E \quad (9)$$

worin D_Z und D_E die Beträge der durch die zonal gemittelte Bewegung und die großturbulente Störbewegung verursachte Reibungsdissipation an kinetischer Energie kennzeichnen:

(\bar{F}_h = horizontale Reibungskraft)

$$D_Z = - \int_{Atm} (\bar{v}_h^\lambda \cdot \bar{F}_h^\lambda) dm > 0 \quad (10)$$

$$D_E = - \int_{Atm} (\bar{v}_h^+ \cdot \bar{F}_h^+) dm > 0 \quad (11)$$

und T_K den Energietransferbetrag zwischen K_Z und K_E (man beachte das unterschiedliche Vorzeichen in beiden Gleichungen

(8) bezeichnet:

$$T_K \approx \int_{Atm} a \cos \phi (\bar{u}^+ \bar{v}^+) \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\bar{u}^\lambda}{a \cos \phi} \right) + (\bar{u}^+ \bar{\omega}^+) \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\bar{u}^\lambda}{a \cos \phi} \right) dm > 0 \quad (12)$$

Weiterhinkennzeichnen C_Z und C_E die Energie-Umsetzungen von $A_Z \rightarrow K_Z$ und $A_E \rightarrow K_E$:

$$C_Z \approx \int_{Atm} - (\bar{\alpha}^\lambda \bar{\omega}^\lambda) dm \quad \begin{array}{l} \alpha = \text{spez. Volumen} \\ \omega = \text{generalisierte} \\ \text{Vertikalgeschwindigkeit} \end{array} \quad (13)$$

$$C_E \approx \int_{Atm} - (\bar{\alpha}^+ \bar{\omega}^+) dm > 0 \quad (14)$$

Geht man in ähnlicher Weise wie früher auch bei der Ableitung der Haushaltsgleichungen für A_Z und A_E vor, wobei die Haushaltsgleichung

$$\frac{\partial A}{\partial t} = - C + G \quad (15)$$

für A herangezogen wird und erneut die Kontinuitätsgleichung

$$\nabla_h \cdot \nabla_h + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \quad (16)$$

Berücksichtigung findet, so erhält man nach einem etwa schwierigen Rechenprozess:

$$\frac{\partial}{\partial t} (A_Z) \approx \frac{\partial}{\partial t} \int_{Atm} \frac{1}{2} \gamma c_p (\bar{T}^\lambda)^2 dm = -C_Z - T_A + G_Z \quad (17)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (A_E) \approx \frac{\partial}{\partial t} \int_{Atm} \frac{1}{2} \gamma c_p (\bar{T}^+)^2 dm = -C_E + T_A + G_E \quad (18)$$

worin wieder C_Z und C_E die Energie-Umsetzungen von $A_Z \rightarrow K_Z$ oder $A_E \rightarrow K_E$ kennzeichnen (man beachte das unterschiedliche Vorzeichen im Vergleich zu den Gleichungen (8) und (9) für K_Z und K_E). Das Symbol $\bar{}$ bezeichnet die Abweichungen vom Flächenmittel.

T_A ist wieder ein Transferbetrag, jetzt zwischen A_Z und A_E (siehe das unterschiedliche Vorzeichen):

$$T_A \approx -c_p \int_{Atm} \gamma \bar{T} \left\{ (\bar{T}^+ \bar{v}^+)^{\lambda''} \frac{\partial}{\partial \phi} + (\bar{T}^+ \bar{\omega}^+)^{\lambda} \frac{\partial}{\partial p} \right\} \cdot (\gamma \bar{\theta}^{-1} \bar{T}^\lambda) > 0 \quad (19)$$

G_Z und G_E bezeichnen die Erzeugungsrate von A_Z und A_E wie folgt:

$$G_Z \approx \int_{Atm} \gamma (\bar{Q}_u^\lambda \bar{T}^\lambda) dm > 0 \quad (20)$$

$$G_E \approx \int_{Atm} \gamma (\bar{Q}_u^+ \bar{T}^+) dm > 0 \quad (21)$$

Die am Ende der Ausdrücke angefügte Vorzeichenangabe (> 0) wird später im Text noch besprochen und gerechtfertigt werden.

Die Formeln (8), (9), (17), (18) sind nun die Haushaltsgleichungen für K_Z , K_E , A_Z und A_E , die angestrebt wurden, und die Ausdrücke (13,14) oder (12) und (19) repräsentieren die im LORENZschen Zyklus möglichen Energie-Umsetzungen von einer in eine unterschiedliche Energieart oder repräsentieren die Energie-Transfers von der zonal mittleren in die groß-turbulente Art (oder umgekehrt) von ein und derselben Energieart. Schließlich liefern die Ausdrücke (20,21) oder (10,11) die Erzeugungs-

raten der zonal mittleren oder groß-turbulenten verfügbaren potentiellen Energiearten bzw. die Dissipationsraten der entsprechenden beiden kinetischen Energieformen.

3.5. DER ENERGIEZYKLUS NACH LORENZ IN TROPO- UND UNTERER STRATOSPHERE

Die quantitative Bestimmung der einzelnen Terme in diesen Gleichungen erlaubt es, der Energetik der allgemeinen Zirkulation im Detail nachzugehen. Siehe eine zusammenfassende Besprechung von Fr. DEFANT im Promet-Heft 4, (1976).

Als Hauptergebnis erhielt LORENZ für die Troposphäre den folgenden Ablauf des Zyklusses gültig für die gesamte Troposphäre der Erde

$$\begin{array}{ccccccc}
 G_Z & \Rightarrow & A_Z & \Rightarrow & A_E & \Rightarrow & K_E \rightarrow K_Z \\
 & & & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & & & G_E & & D_E \\
 & & & & & & \downarrow \\
 & & & & & & D_Z
 \end{array}
 \quad (22)$$

Für die untere Stratosphäre ergab sich nach OORT (1964) eine wesentlich andere Übertragungsfolge:

$$\begin{array}{ccccccc}
 K_E & + & A_E & \Rightarrow & A_Z & \Rightarrow & G_Z \\
 & \searrow & & & \nearrow & & \\
 & & K_Z & & & &
 \end{array}
 \quad (23)$$

Dabei zeigen die Doppelpfeile jene Energieumsetzungen an, welche bestimmendes Gewicht besitzen. Dieser stratosphärische Energiezyklus zeigt deutlich, daß für die Aufrechterhaltung von K_E keine Quellen angebar sind, die der unteren Stratosphäre entstammen, sondern vielmehr die großturbulente kinetische Energie in der unteren Stratosphäre von den darüber oder darunter situierten Stockwerken durch vertikale Energieübertragung gespeist werden muß (wahrscheinlich von der darunter liegenden Troposphäre her).

Früheren Untersuchungen zufolge ergeben sich nacheinander für A_Z , A_E , K_Z , K_E die folgenden Gesamtmengen in der Atmosphäre: 40, 15, 8, 7 mal 10^{15} Joule/m², wobei nacheinander nur 2.3, 1.8, 2.0 und 5.0 % der Gesamtmengen auf die untere Stratosphäre entfallen und somit die Hauptanteile der 4 Energieformen überwiegend der Troposphäre zukommen (Zahlen nach OORT). Was die hier bearbeitete Energieform K_Z betrifft, werden später in der Arbeit neue Vergleichszahlen vorgelegt. Ähnliches ist für A_Z der Arbeit von EBBRECHT (1980) zu entnehmen, jedoch werden hier Energiemengen separat für jeden Monat des Jahres vorgelegt werden.

4. INTEGRATIONSVERFAHREN FÜR K_Z

Ein weiteres Ziel der Arbeit war es, die absoluten Beträge der kinetischen Energie nicht nur an möglichst vielen Einzelpunkten zu bestimmen, sondern auch eine Aussage über den mittleren Energiegehalt größerer Bereiche in der Atmosphäre zu erhalten, was unter Zuhilfenahme geeigneter Integrationsformeln möglich ist. Zunächst wurde die gesamte Atmosphäre aufwärts bis etwa 30 km Höhe (10 mb) gleichmäßig in Rauminhalte möglichst gleicher Kantenlängen untergliedert und anschließend wurden auch Integrationen über anders geartete spezielle Intervalle ausgeführt. Letztere berücksichtigen dann in stärkerem Maße meteorologisch interessierende Aspekte wie z.B. Separationen in tropo- und stratosphärische und Ost- sowie Westwind- und schließlich auch unterschiedliche Luftkörperbereiche.

4.1. KONTINUIERLICHE INTEGRATION VON K_Z

Horizontal wurde die Erdoberfläche mit Hilfe der Formel (24), welche K_Z -Werte auf einer beliebigen der hier verwendeten vielen Standarddruckflächen ($p=\text{const}$) liefert, in 18 Breitenstücke von je 5 Breitengraden weiter unterteilt. Eine meridionale Integration erfolgt durch Verwendung von 3 Werten K_Z , die jeweils $2,5^\circ$ Breiten abständig gewählt werden:

$$\overline{(K_Z)}^{\phi_1, \phi_3} = \frac{1}{\sin \phi_3 - \sin \phi_1} \int_{\phi_1}^{\phi_3} K_Z \cos \phi \, d\phi \approx \frac{|K_Z|_1 \cdot \cos \phi_1 + 2|K_Z|_2 \cdot \cos \phi_2 + |K_Z|_3 \cdot \cos \phi_3}{45,8348 (\sin \phi_3 - \sin \phi_1)} \quad (24)$$

Hierbei ist ϕ_3 die nördlicher-, ϕ_2 die zentrale und ϕ_1 die südlicher gelegene Breite des gewählten Intervalls.

Die in der Formel 24 enthaltene gewogene arithmetische Mittelung der K_Z -Werte stellt eine gute Annäherung an das wahre Flächenmittel dar.

Die vertikale Integration wurde über 12 vertikale Teilstücke durchgeführt. Die Tabelle 1 zeigt die einzelnen Schichtdicken (in mb):

Tabelle 1

Schichtgrenzen	mb	Schichtdicke	km
1000 bis 800	1,9	140 bis 100	2,2
800 bis 600	2,3	100 bis 70	2,3
600 bis 400	3,0	70 bis 50	2,2
400 bis 300	2,0	50 bis 30	3,2
300 bis 200	2,6	30 bis 20	2,6
200 bis 140	2,2	20 bis 10	4,6

Für die vertikale Integration der horizontalen gemittelten K_Z -Flächenmittelwerte $\overline{(K_Z)}^{\phi_1, \phi_3}$ wurde die folgende Formel gewählt:

$$\overline{(K_Z)}^F = \left(\frac{1}{g}\right) \int_{p_3}^{p_1} \bar{K}_Z^p \, dp \approx \frac{p_1 - p_3}{g} \bar{K}_Z^p \approx \frac{\Delta p}{g} \frac{\bar{K}_{Z1}^{p_1} + 2 \bar{K}_{Z2}^{p_2} + \bar{K}_{Z3}^{p_3}}{4} \quad (25a)$$

Sie liefert Werte der zonalen kinetischen Energie K_Z in der Einheit 10^2 Joule/m². In Formel (25) bezeichnet p_1 die untere und p_3 die obere Druckfläche.

Abweichend hiervon wurden für die speziellen Schichten 300 bis 200, 200 bis 140 und 100 bis 70 mb, da in diesen Schichten mit Spitzenwerten von K_Z zu rechnen ist, folgende Mittelungsformeln angewendet, die das Ergebnis noch etwas genauer machen:

$$\left| \bar{K}_Z^F \right|_{300-200} = \frac{\Delta p}{9} \frac{\bar{K}_Z^P_{300} + 2 \bar{K}_Z^P_{260} + 2 \bar{K}_Z^P_{240} + \bar{K}_Z^P_{200}}{6} \quad (25b)$$

$$\left| \bar{K}_Z^F \right|_{200-140} = \frac{\Delta p}{9} \frac{\bar{K}_Z^P_{200} + 3 \bar{K}_Z^P_{170} + \bar{K}_Z^P_{140}}{5} \quad (25c)$$

$$\left| \bar{K}_Z^F \right|_{100-70} = \frac{\Delta p}{9} \frac{\bar{K}_Z^P_{100} + 2 \bar{K}_Z^P_{90} + 2 \bar{K}_Z^P_{80} + \bar{K}_Z^P_{70}}{6} \quad (25d)$$

Will man einen Summenwert für die gesamte Nordhalbkugel erhalten, so dürfen die mit Hilfe der Formel (25a bis 25d) gewonnenen Einzelwerte nicht einfach aufaddiert werden, da sie ja stets für ein 5° -Breitenintervall gelten, die Fläche dieser Breitenintervalle wegen der Kugelform der Erde zwischen Äquator und Pol jedoch beträchtlich variiert. Tabelle 2 liefert die Oberflächen der Erde (Breitenzonen von 5° Weite), mit denen die jeweiligen K_Z -Werte/Breitenstück multipliziert werden müssen, um addierbare Größen zu liefern (Einheit Joule).

Tabelle 2: Flächen von verschiedenen 5-Breitengrad-weiten Breitenzonen der Erdoberfläche

Breitenzone	Oberfläche in 10^8 km^2	Breitenzone	Oberfläche in 10^8 km^2	Breitenzone	Oberfläche in 10^8 km^2
0 bis 5°	0,2223	30 bis 35°	0,1877	60 bis 65°	0,1028
5 bis 10°	0,2205	35 bis 40°	0,1765	65 bis 70°	0,0851
10 bis 15°	0,2172	40 bis 45°	0,1640	70 bis 75°	0,0669
15 bis 20°	0,2122	45 bis 50°	0,1503	75 bis 80°	0,0482
20 bis 25°	0,2056	50 bis 55°	0,1355	80 bis 85°	0,029
25 bis 30°	0,1973	55 bis 60°	0,1195	85 bis 90°	0,0097

4.2. INTEGRATION OBER FÖNF METEOROLOGISCH BEDEUTSAME SCHICHTEN DER ATMOSPHERE IN DER VERTIKALEN

(a): Die planetarische Grenzschicht (1000 bis 800 mb)

In dieser untersten Schicht spielen die Bodenreibung und die vertikale innere Turbulenzreibung nach EKMAN eine entscheidende Rolle. Die Windstärke und somit auch die kinetische Energie K_z bleiben verglichen mit den anderen Schichten gering. Der Betrag der ageostrophischen nicht-zonalen Windanteile, der hier aber nicht untersucht wird, ist dort beachtlich, wird jedoch durch die Mittelung über 10 Jahre weitgehend gedämpft.

(b): Die untere und mittlere Troposphäre (800 bis 400 mb)

Dieses Stockwerk der Atmosphäre ist in allen Jahreszeiten gekennzeichnet durch mit der Höhe rasch zunehmende Winde und die stärkste Ausprägung der Polar- und Subtropenfront, wobei bei solchen Mittelbetrachtungen über 10 Jahre wegen ihrer mehr zonalen Ausrichtung der Subtropenfront eine größere Baroklinität zukommt.

(c): Die obere Troposphäre (Strahlstromniveaus) (400 bis 140 mb)

In dieser Schicht treten maximale Winde und maximale kinetische Energien K_z auf. In etwa 9 km Höhe (entsprechend 300 mb) ist der Polarjet, in etwa 12 km Höhe (nahe 200 mb) der Subtropenjet anzutreffen. In allen Jahreszeiten herrschen durchgehend Westwinde über den mittleren und nördlicheren Breiten.

(d): Die untere Stratosphäre, unterer Teil (140 bis 50 mb)

Mit zunehmender Höhe nehmen die Westwinde ab (Ausnahme: Wintermonate, in welchen im oberen Teil dieser Schicht der Einfluß des polaren Nachtjets beginnt). Im Sommer wird der obere Teil dieses Stockwerks von einer Ostwindzirkulation beherrscht.

(e): Die untere Stratosphäre, oberer Teil (50 bis 10 mb)

In dieser Schicht zwischen etwa 20 und 30 km Höhe wirken sich die im unteren Teil der unteren Stratosphäre schon angedeuteten Effekte voll aus: starker Strahlstrom im Winter über relativ nördlichen Breiten. Ostwindzirkulation von Mai bis September. Recht abrupte Übergänge von W → E im Frühling und zurück von E → W im Herbst.

Rechnerisch wurden die Werte separat für jede dieser Schichten gewonnen, wobei bei der Rechnung teilweise noch kleinere Schichtdicken gewählt wurden (siehe Tabelle 2) und anschließend eine Zusammenfassung für die oben genannten Hauptschichten vorgenommen wurde.

4.3. INTEGRATION GETRENNT OBER TROPO- UND STRATOSPHERE SOWIE FÜR DEREN OST- UND WESTWINDBEREICHE

Mit Hilfe dieser Trennungen ist es möglich, exakte Angaben darüber zu erhalten, welche Anteile der kinetischen Energieform K_z auf die Troposphäre bzw. untere Stratosphäre und in ihnen wiederum jeweils auf die Ost- bzw. Westwindbereiche derselben separat entfallen.

Grundlage dieser Trennung war die genaue Kenntnis der Lage der Tropopause einerseits und der Nulllinie in den Windschnitten andererseits. Beide Informationen konnten den Windschnitten, über deren Entstehung im Abschnitt 2. der Arbeit näher berichtet wurde, entnommen werden. Im einzelnen geschah die Trennung derart, daß alle ganz zu dem jeweiligen Bereich, der gerade Gegenstand der Untersuchung war, gehörigen Werte aufaddiert wurden und für jene Werte, die für Bereiche an der Trennungslinie (Tropopause oder Nulllinie) galten, geeignete Wichtungsfaktoren angebracht wurden, mit denen sie multipliziert dann der bisherigen Summe zugeschlagen wurden.

4.4. INTEGRATION OBER DIE KINETISCHE ENERGIE IN DEN DREI WICHTIGEN HAUPTLUFTKÖRPERN DER TROPOSPHÄRE (polar, gemäßigt, tropisch)

Die Gesamtheit der Luftmasse der Nordhalbkugel wird durch zwei markante frontale Übergänge (Polar- und Subtropenfront) in drei Bereiche getrennt: den polaren Bereich nördlich der Polarfront, den Bereich der gemäßigten Luftmasse zwischen der Polar- und Subtropenfront und den Tropikluftbereich südlich der Subtropenfront. Im Winter kommt noch ein Bereich arktischer Luft hinzu, der hier aber nicht gesondert erfaßt wurde. In Verbindung mit den unterschiedlich großen Verlagerungen dieser beiden Fronten (zum Sommer hin nordwärts, zum Winter hin südwärts) sind diese Bereiche verschieden mächtig, was sich auf die ihnen zugehörige kinetische Energie K_z auswirkt. Mit der Höhe findet diese Luftmassentrennung an der Tropopause ihr oberes Ende.

Die Lage der Fronten konnte den 12 meridionalen Temperaturschnitten Fr. DEFANTs entnommen werden, die Berechnung des jeweiligen Energieinhaltes erfolgte dann ganz analog zu dem in Punkt 3 dieses Abschnittes beschriebenen Vorgehen. Ein nicht unbeträchtlicher Teil von K_z befindet sich innerhalb der äußeren Grenzen beider Fronten, die eine horizontale Erstreckung von einigen hundert Kilometern haben. Die anschließende Tabelle über die Ausdehnung der einzelnen Luftmassenbereiche wurde dem WMO-Kompodium Synoptische Meteorologie Teil 3 (Fr. DEFANT, 1978) entnommen.

Tabelle 3

Monat	Tropikluftbereich angegeben in grad Breite	Bereich der gemäßigten Luft angegeben in grad Breite	Polarluftbereich angegeben in grad Breite
Januar	27	15	38
Februar	29	18	36
März	30	18	34
April	32	20	29
Mai	37	21	25
Juni	40	22	21
Juli	42	24	17
August	41	20	19
September	38	18	23
Oktober	33	18	29
November	29	18	34
Dezember	27	16	39

5. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG

5.1. DIE 12 MITTLEREN MERIDIONALSCHNITTE DER ZONALEN KINETISCHEN ENERGIE K_z

Für jeden Monat des Jahres separat wurde ein mittlerer Meridionalschnitt gewonnen, indem die an den in Kapitel 2 beschriebenen Stellen gewonnenen Werte der zonalen kinetischen Energie in einem Meridionalschnitt, dessen Abszisse die geographische Breite mit Cosinus-Wichtung und dessen Ordinate der Druck als Exponentialfunktion ist, eingetragen wurden. Diese Achseneinteilung wurde gewählt, um einerseits in der Horizontalen den verschieden großen Oberflächen in den betreffenden Breitenzonen Rechnung zu tragen und andererseits in der Vertikalen eine nahezu lineare Höhenskala durch die Wahl von p^k als Ordinate zu erhalten ($k=0,286$). Dies entspricht der Ordinate des bekannten aerologischen Diagrammpapiers von STÜVE.

Bevor eine systematische Darlegung der in dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse erfolgt, scheint es angebracht, als eine Vororientierung für den Leser auf wichtige Eigenheiten der anschließend präsentierten mittleren Meridionalschnitte von K_z separat für jeden Monat des Jahres näher einzugehen:

Solche K_z -Schnitte sind natürlich mit den entsprechenden Wind-Schnitten (u_g) insofern identisch, als bei K_z lediglich eine Quadrierung des Zonalwindes und anschließend eine Halbierung bei der Berechnung von K_z vorgenommen wird. Auf einen Umstand soll auch hier noch einmal deutlich hingewiesen werden: Während in der Arbeit von EBBRECHT die angegebenen Mengen von A_z für bestimmte Teilbereiche der Atmosphäre sich lediglich auf den Integranden beziehen und daher als Prozent der atmosphärischen Gesamtsumme zu werten sind, weil die verfügbare potentielle Energie eigentlich nur ein globales Konzept darstellt, ist dies bei der kinetischen Energie anders. Hier stellen die berechneten Mengen wahre energetische Teilbeträge für sich dar.

- (1) Allen Bildern gemeinsam ist ein Maximum an kinetischer Energie nahe dem 200 mb-Niveau (entsprechend etwa 12 km Höhe) über den subtropischen Breiten (Winter nahe 30°N , Sommer nahe 45°N). Gleichzeitig mit dieser Nordverlagerung von ca. 15 Breitengraden vom Winter zum Sommer nimmt die Intensität dieses Maximums erheblich ab: von über $1200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ im Januar auf etwas über $200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ im Juli. Dieses Hauptmaximum an zonaler kinetischer Energie resultiert aus dem geschwindigkeitshohen Subtropenstrahlstrom, der aus dynamischen Gründen (thermische Windbeziehung) über der frontalen Grenze zwischen tropischer und gemäßigter Luft (Subtropenfront) angesiedelt ist. Entsprechend dem Sonnenstand kann sich im Nordsommer die tropische Luftmasse bis in die mittlere Breiten ausbreiten, was mit der Verlagerung dieses Strahlstromes nach Norden hin im Einklang ist. Seine Intensitätsabnahme zum Sommer hin ist eine Folge der dann geringeren Einstrahlungsgegensätze zwischen Äquator und Pol, aus der ein wesentlich geringerer meridionaler Temperaturgradient sowohl am Erdboden als auch in der freien Troposphäre resultiert.
- (2) Ein weiteres Maximum von K_z ist in allen Monaten zumindestens angedeutet. Es findet sich in etwa 9 km Höhe (300 mb) und stets etwa 20° nördlicher als das Subtropenjetmaximum. Dies ist der Polarjet, dem keine eigene in sich geschlossene Isolinie im Schnitt entspricht, sondern nur eine mehr oder minder starke Ausbuchtung der Energieverteilung nach Norden. Der Grund hierfür ist einerseits seine in der Regel etwas geringere Windgeschwindigkeit verglichen mit dem Subtropenjet und andererseits (und dies in stärkerem Maße) die stärkere Mäandrierung, die es mit sich bringt, daß bei zonaler und langzeitlicher Mittelung seine deutliche Ausbildung in einem mittleren Meridionalschnitt unterbunden wird.

- (3) Noch ein weiterer Strahlstrom hinterläßt seine Spuren in den 12 Energieschnitten, wenn auch nicht in allen Monaten des Jahres. Es ist dies der polare Nachtjet, dessen stärkste Ausprägung in den Hauptwintermonaten im oberen Teil der unteren Stratosphäre über den nördlichen Breiten (60 bis 70°N) erkennbar ist. Seine Entstehung ist eng mit der völligen solaren Strahlungsausblendung im Polargebiet in den Wintermonaten verknüpft. Seine Intensität, die oberhalb der Obergrenze dieser Darstellungen (< 10 mb) noch weiter ansteigt, ist vergleichbar mit der des Subtropenjets. Im April verschwindet der polare Nachtjet aus den Diagrammen, um im Oktober mit wachsender Intensität zum Winter hin erneut zu erscheinen.
- (4) In großer Höhe (Zentrum immer oberhalb der 10 mb-Fläche) ist das ganze Jahr über ein weiteres Energiemaximum erkennbar, das vom Winter (Januar: $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$) zum Sommer (Juli: mehr als $450 \text{ m}^2/\text{s}^2$) zunimmt und sich aus seiner winterlichen äquatorialen Position heraus zum Sommer hin weiter nach Norden (bis ca. 10° oder 15°N) verlagert. Es wird hervorgerufen durch die stratosphärischen Ostwinde, welche im Sommer fast in der gesamten unteren Stratosphäre feststellbar sind.

Zu den nachfolgenden Einzelbeschreibungen sei im voraus gesagt, daß der interessierte Leser exakte Zahlenwerte für die oben genannten wichtigen Erscheinungen in Tropo- und Stratosphäre sowie innerhalb der planetarischen Grenzschicht und im schwachen polaren Ostwindbereich für die einzelnen Monate des Jahres beigefügten Tabelle 4 entnehmen kann.

In dieser Tabelle 4 sind extreme Werte von u_g und K_z mit Angaben über die Breitenlage (°N) und Höhenlage (in mb) ihres Auftretens für jeden Monat des Jahres aufgeführt. Die Angaben betreffen den Subtropenjet und den Polarjet in der oberen Troposphäre, den polaren Nachtjet (Winter) sowie

in dem oberen Teil der unteren Stratosphäre die äquaturnahe Ostwinddrift. Auch sind entsprechende Angaben über die maximalen Zonalwinde und über K_z für den Passat in der Höhe seines Windkerns bzw. am Erdboden und für die flachen polaren Ostwinde aufgenommen.

Weitere 12 Tabellen (Tabelle 5) präsentieren Punktwerte von K_z im mittleren Meridionalschnitt separat für alle Monate des Jahres.

Tabelle 4: Überblick über Lage [°N], Höhe [mb] und Betrag der Extremwerte von u_g [m/s] und K_z [m²/s²] in den meteorologisch bedeutsamsten Gebieten

MO	OBERE TROPOSPHÄRE				STRATOSPHERE (10 mb)				PLANETARISCHE GRENZSCHICHT						
	Subtropen	Jet	Polar	Jet	Polar	Nacht	Jet	Aqu.	Ostwind	Passat	Max	Passat (Boden)	Polarer	Ostwind(Boden)	
1	49.7 1235	30.5°N 190	19.5 190	49°N 290	42.4 899		62.5°N 10	-14.2 101	0°N 10	-6.7 22	9°N 750	-4.2 8.8	12.5°N	-0.8 0.3	82.5°N
2	47.5 1128	31°N 190	16.6 138	52°N 290	38.2 730		63.5°N 10	-15.0 113	0°N 10	-6.5 21	9°N 750	-4.2 8.8	14°N	-0.7 0.1	82.5°N
3	43.0 924	32°N 190	14.4 103	54°N 290	20.9 218		63°N 10	-15.3 117	0°N 10	-5.7 16	8°N 700	-3.8 7.2	15°N	-1.4 1.0	80.0°N
4	36.3 659	34°N 190	11.0 61	58°N 290	0.8 ----- -4.5	0.3 10	46°N ----- 67°N	-17.5 153	6°N 10	-5.4 15	8°N 690	-3.4 5.8	17°N	-1.7 1.4	77.5°N
5	28.6 409	37°N 190	7.8 30	62.5°N 290	-13.8 95		67°N 10	-21.4 229	12.5°N 10	-5.2 14	8°N 670	-3.2 5.1	18°N	-1.6 1.3	77.5°N
6	23.0 265	41°N 190	5.7 16	67°N 285	-15.8 125		7.5°N 10	-27.0 365	15°N 10			-2.7 3.6	19°N	-1.4 1.0	74°N
7	21.7 235	45°N 190	4.9 12	71.5°N 270	-12.9 83		70°N 10	-31.5 496	15°N 10			-2.5 3.1	22°N	-1.3 0.8	74°N
8	22.6 255	44°N 190	6.8 23	68°N 285	-7.5 28		70°N 10	-25.4 323	14°N 10			-2.6 3.4	22°N	-1.3 0.8	72.5°N
9	24.8 308	41°N 190	11.6 67	63°N 285	9.2 42		58.5°N 10	-19.2 184	10°N 10			-2.8 3.9	20°N	-1.4 1.0	75°N
10	30.3 459	36.5°N 190	15.3 117	58°N 290	20.0 200		60°N 10	-15.7 123	5°N 10	-4.6 11	9°N 620	-2.9 4.2	17°N	-1.5 1.1	80°N
11	37.5 703	32.5°N 190	16.7 139	54°N 290	26.5 351		60°N 10	-15.2 116	0°N 10	-5.6 16	9°N 730	-3.6 6.5	16°N	-1.5 1.1	80°N
12	43.0 925	31°N 190	19.5 190	49°N 290	35.6 634		60°N 10	-15.0 113	0°N 10	-6.1 19	8.5°N 780	-4.2 8.8	14°N	-1.2 0.7	82.5°N

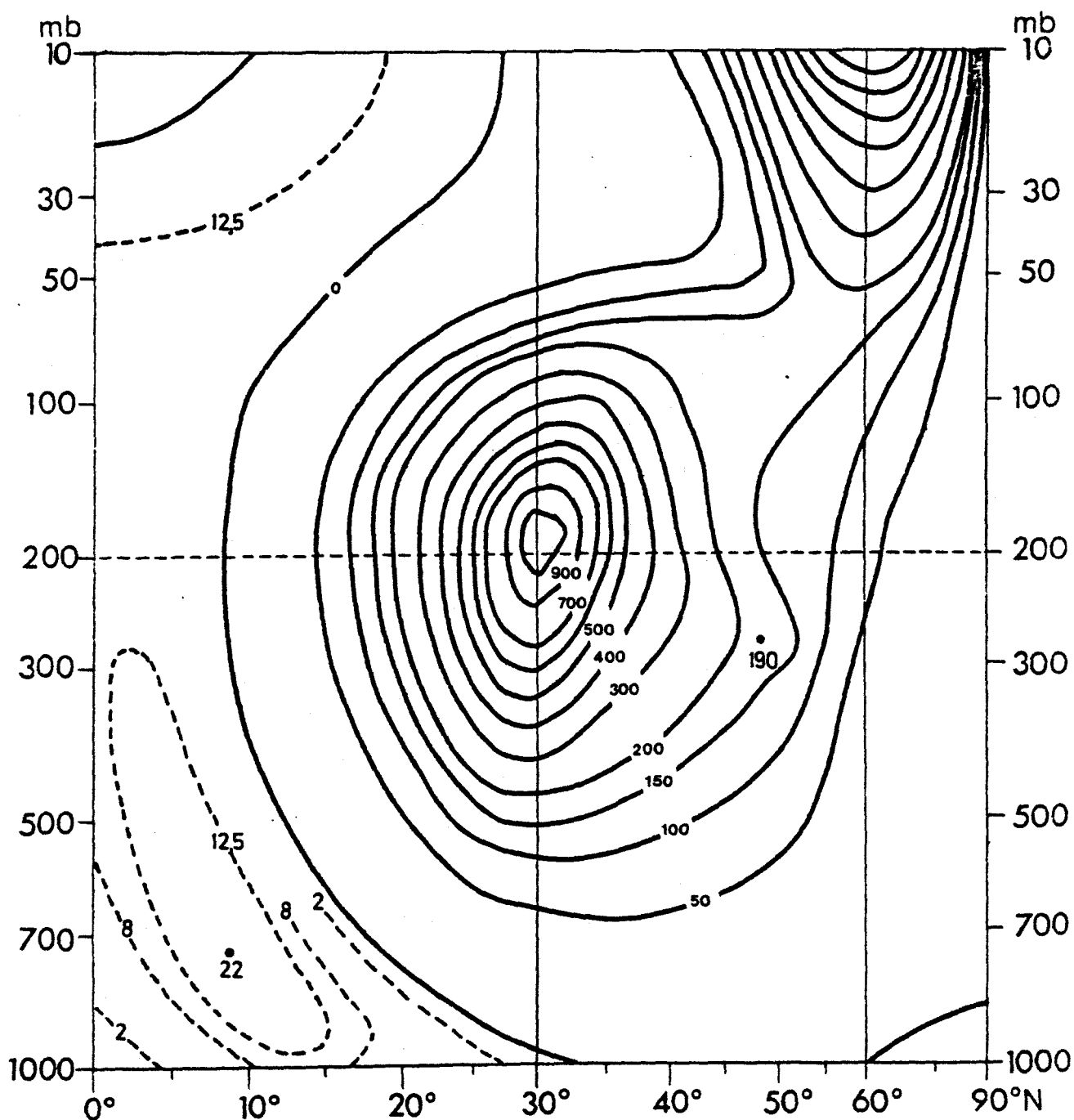


Abb.1. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Januar für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

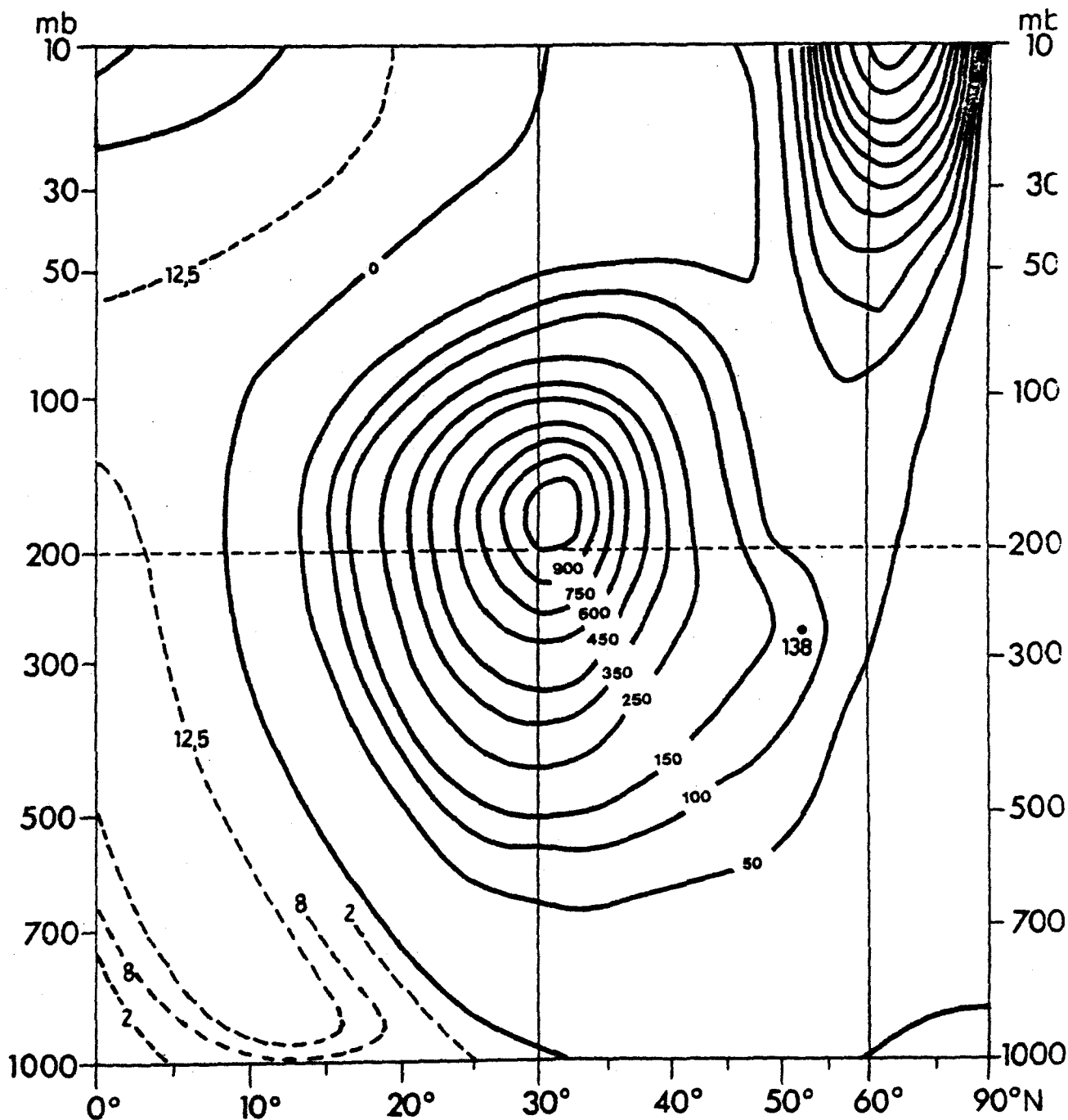


Abb.2. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Februar für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

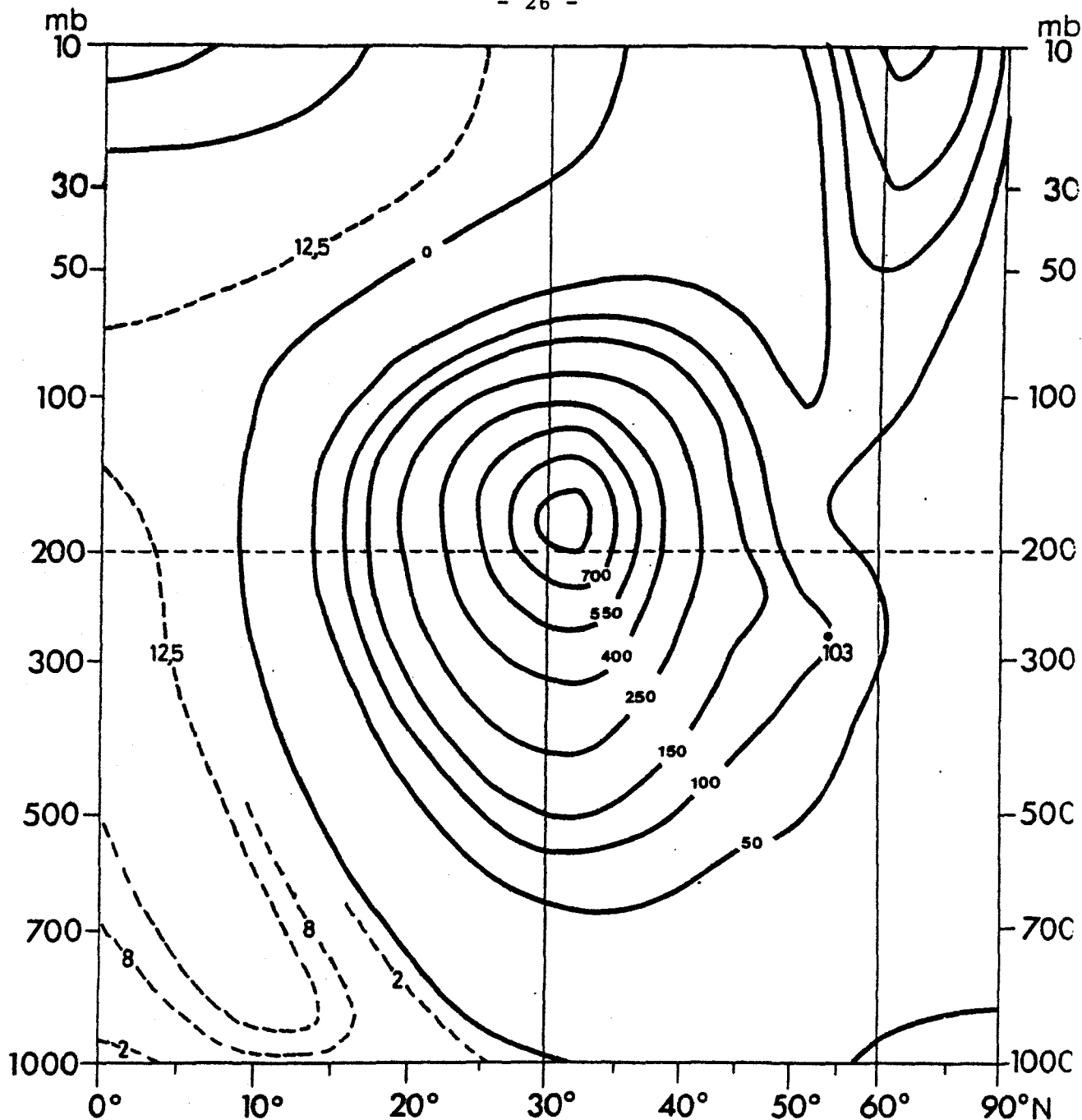


Abb.3. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im März für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

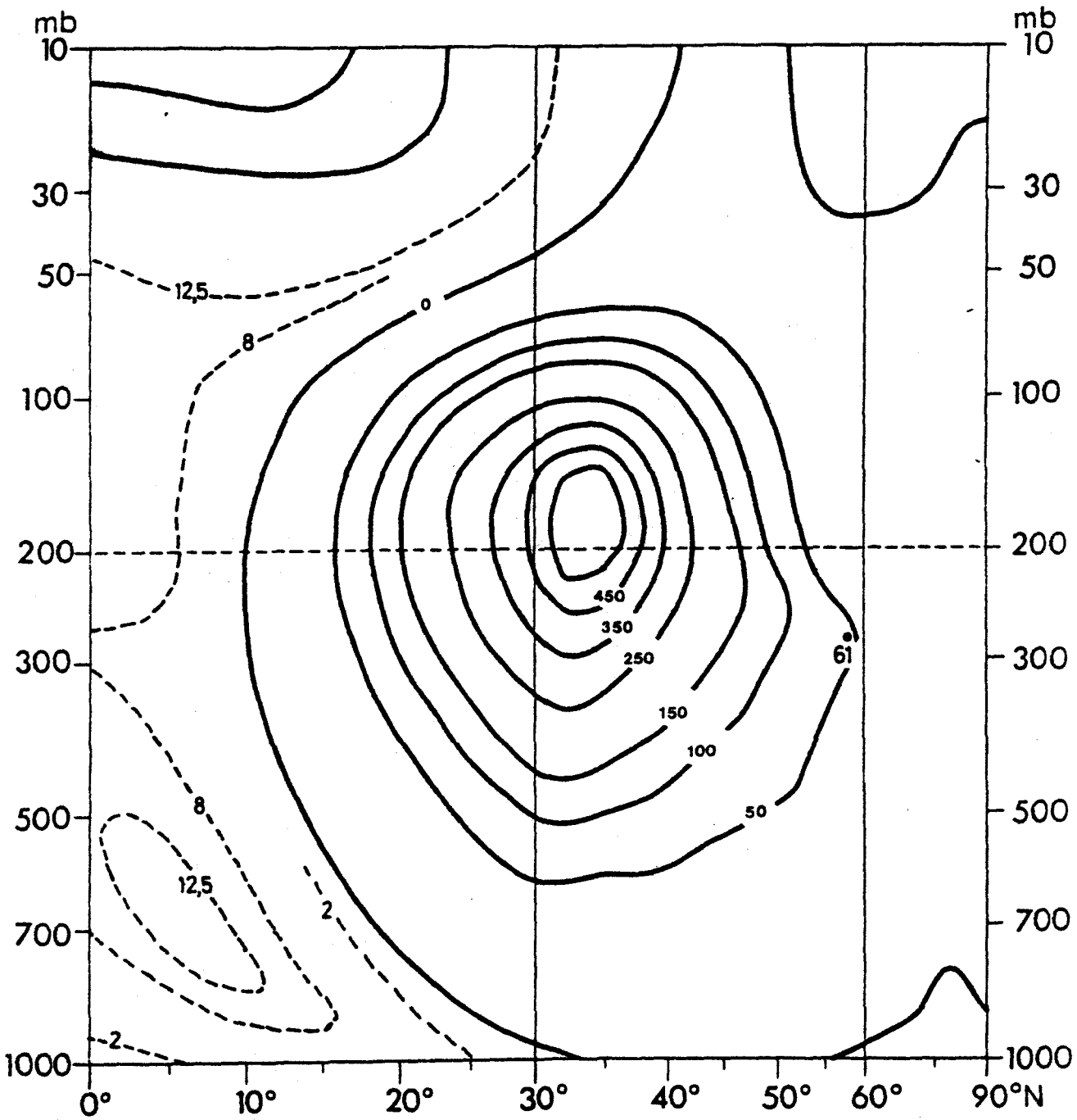


Abb. 4. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im April für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

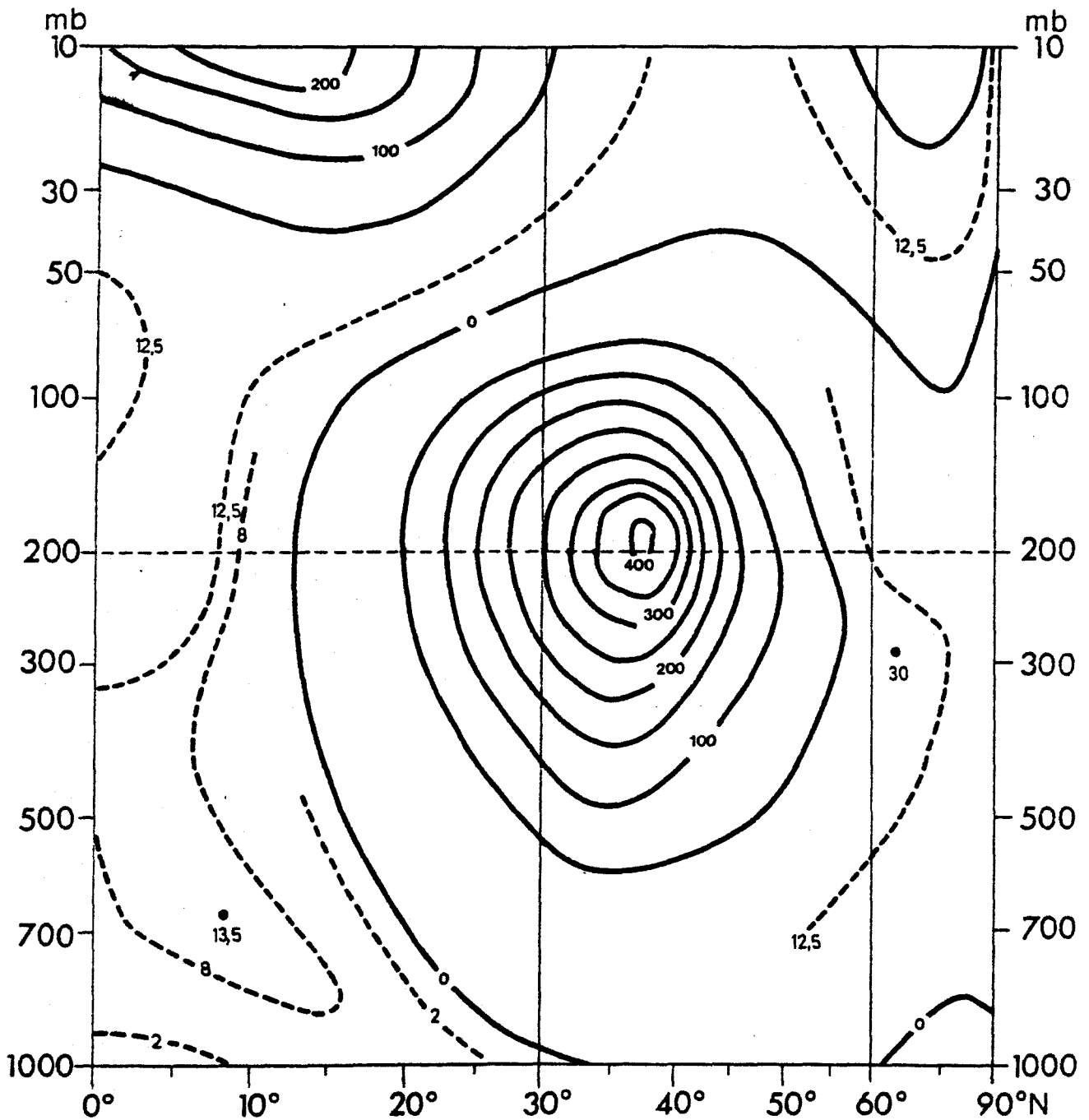


Abb.5. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Mai für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

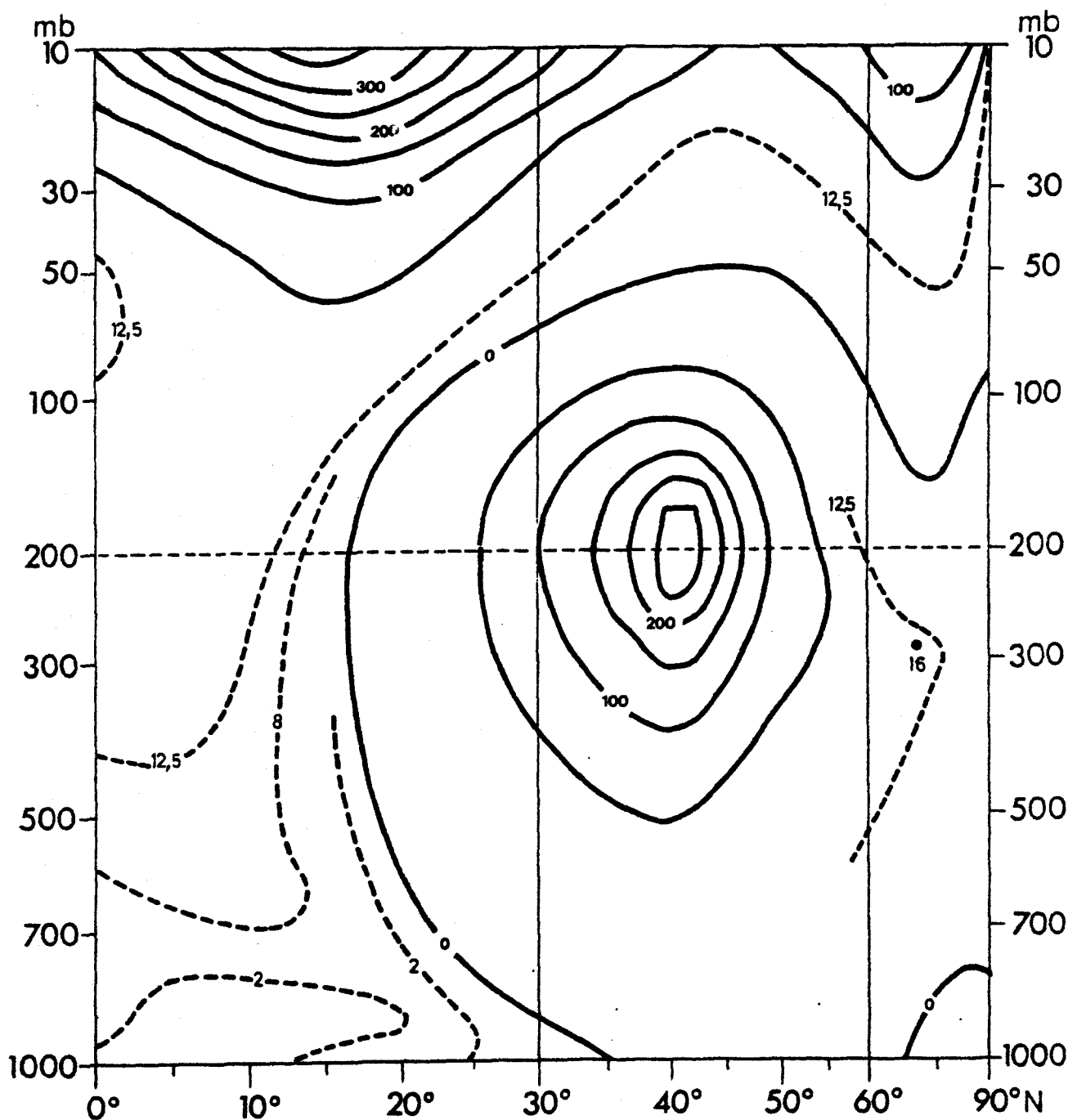


Abb. 6. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Juni für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

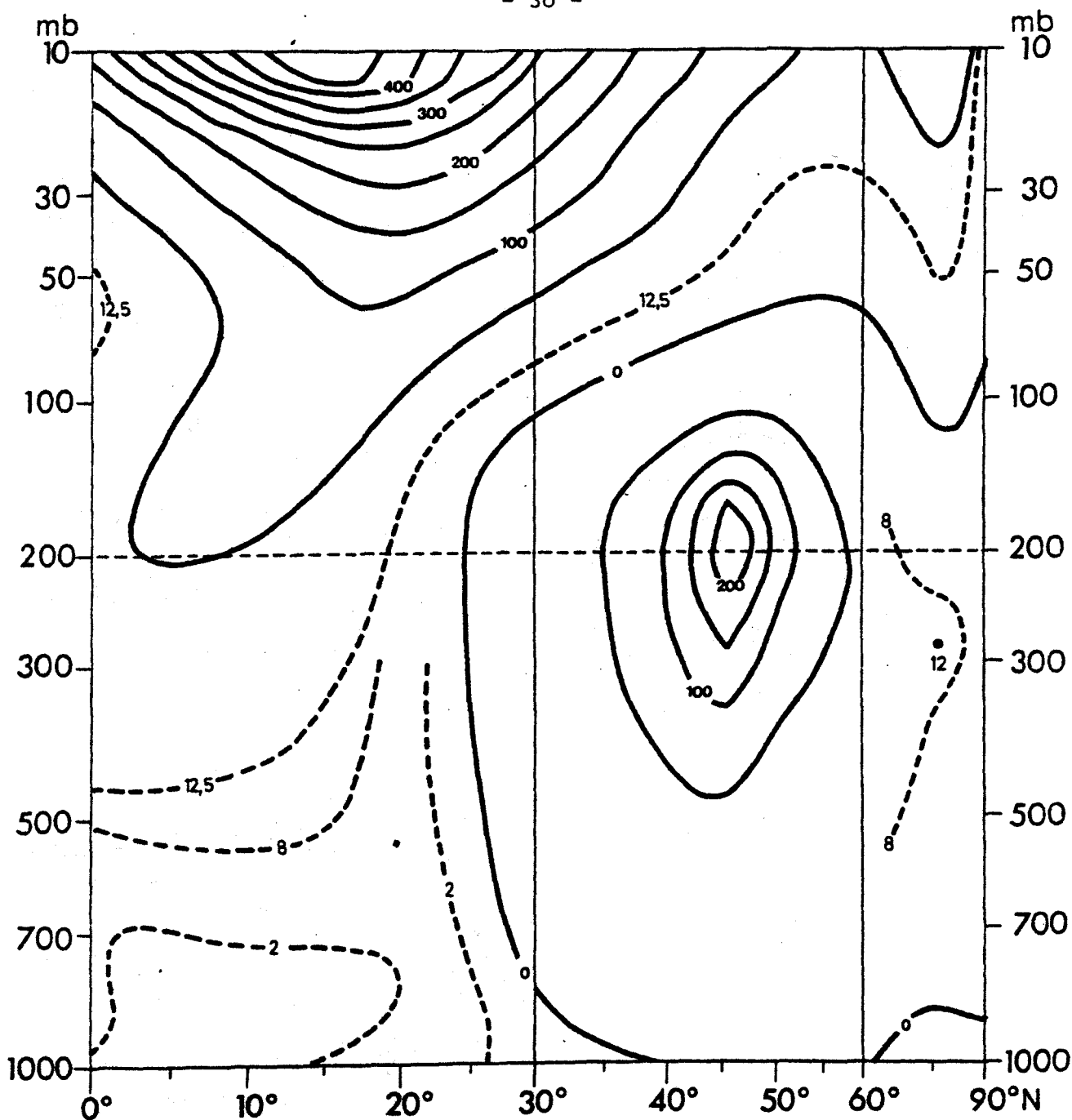


Abb. 7. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Juli für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

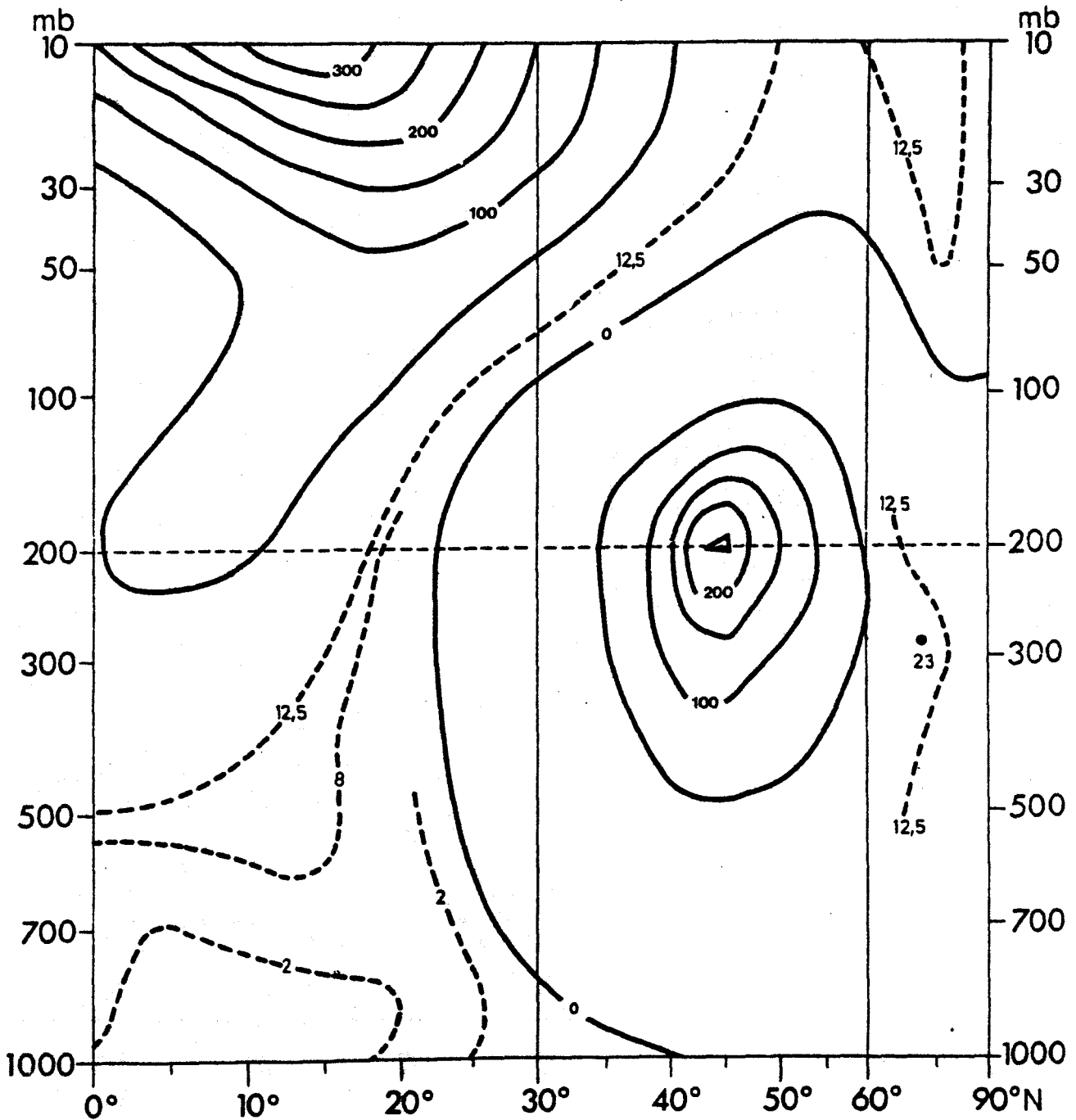


Abb. 8. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im August für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

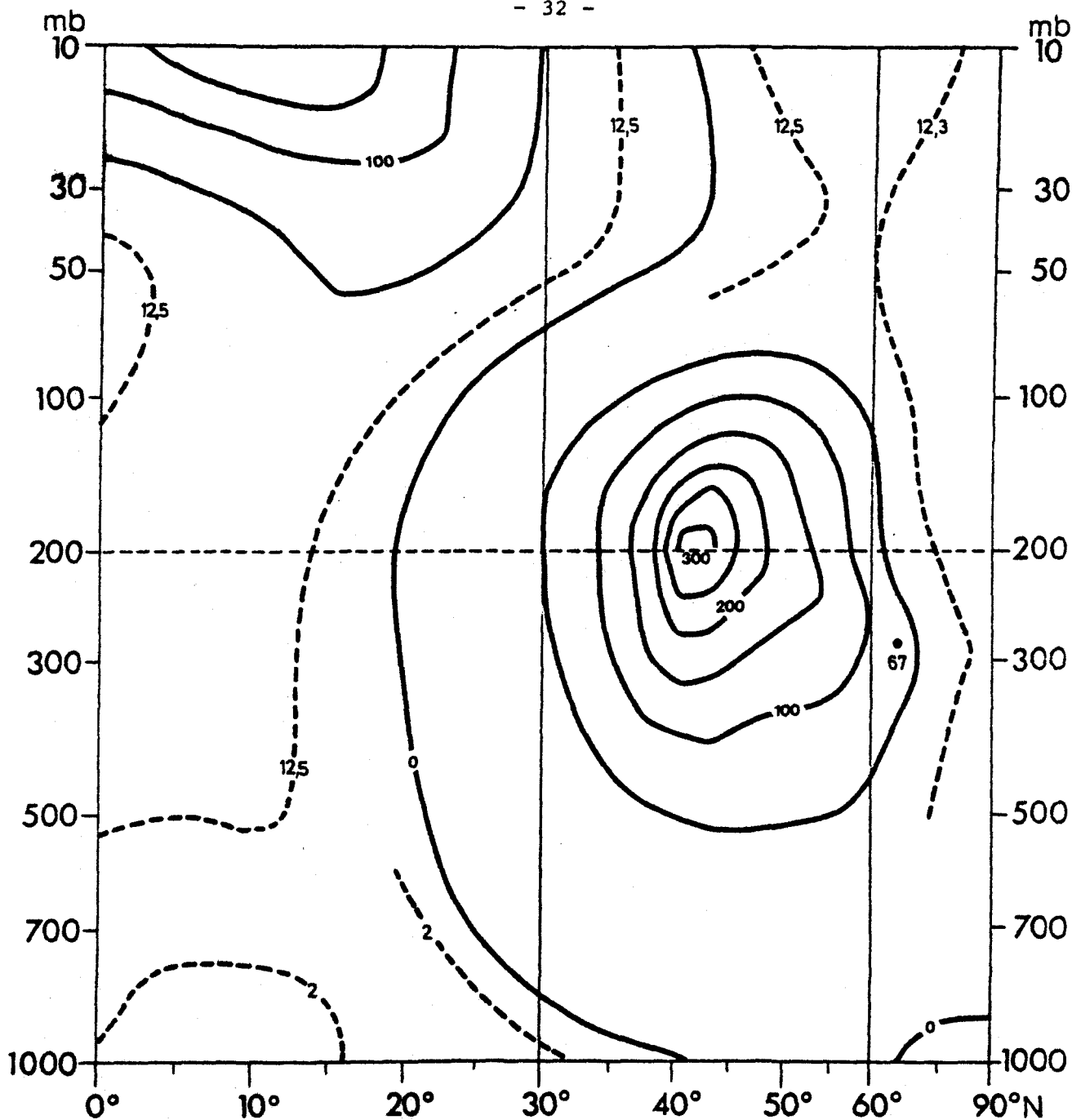


Abb. 9. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im September für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

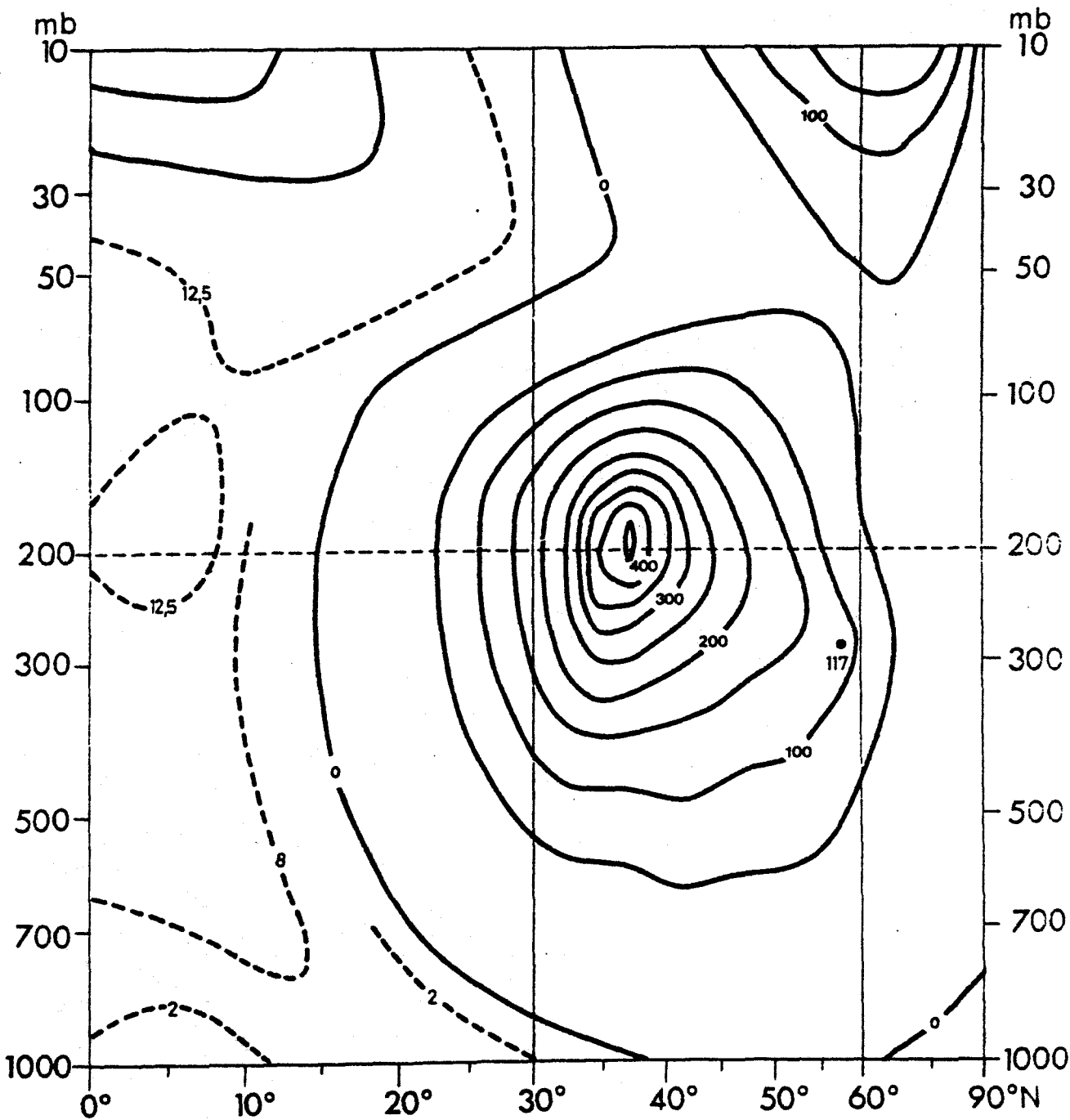


Abb.10. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Oktober für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

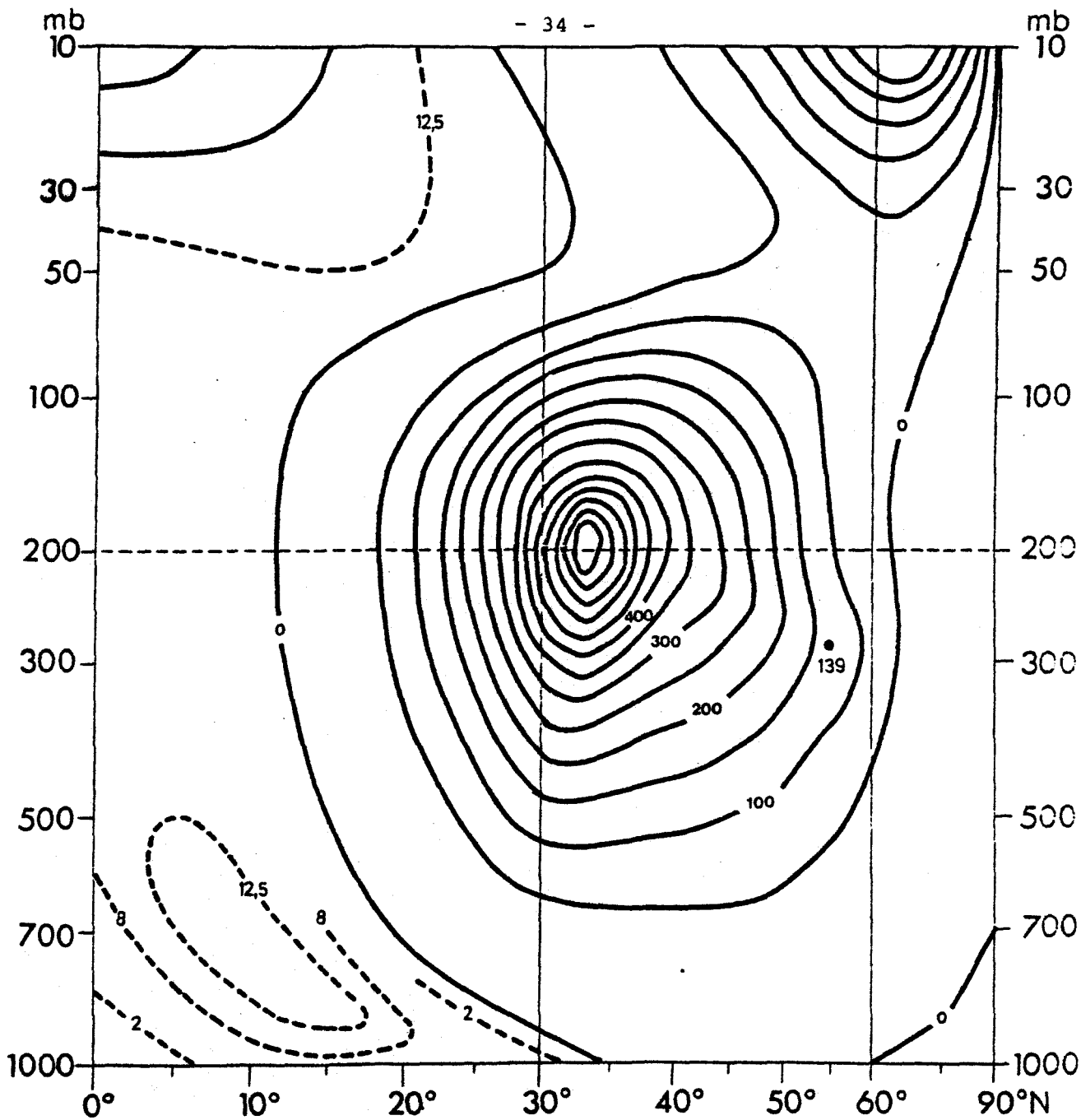


Abb.11. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
 der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im November für die Nordhalbkugel und für
 das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

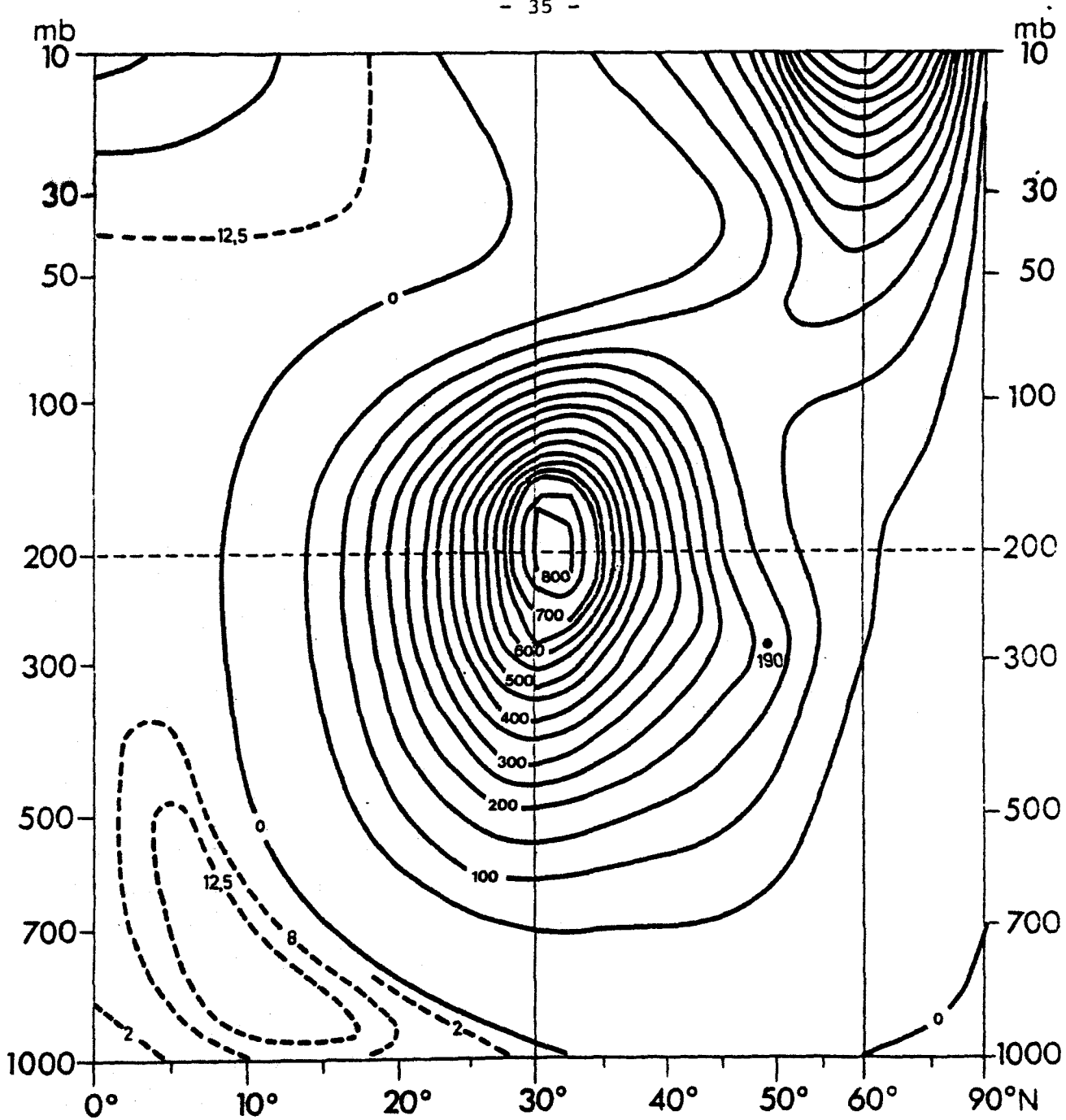


Abb.12. Mittlerer meridionaler Querschnitt (10 Jahre)
der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit
 m^2/s^2 im Dezember für die Nordhalbkugel und für
das Höhenintervall von 1000 bis 10 mb.

JANUAR (siehe Abb. 1)

Der Kern des Subtropenstrahlstroms findet sich über ca. 30°N und nahe der 200 mb-Fläche. Dort beträgt die zonale kinetische Energie K_z $1235 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Im Schnitt verlaufen die nächsttieferen 20 Isolinien der Energie, die im Abstand von 50 zu $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$ aufgetragen sind, fast kreisförmig um dieses Maximum. Der seitliche oder vertikale Gradient nimmt mit zunehmendem Abstand vom Kern nach allen Richtungen hin ab. Eine schwache Abweichung von dieser angenäherten Kreisform in Gestalt einer Ausbuchtung der $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ -Linie nach Norden bis 54°N kennzeichnet den Schwerpunkt des Polarjets, dessen Zentrum über 49°N einen Energiewert von $190 \text{ m}^2/\text{s}^2$ aufweist und dessen relative Schwäche im Vergleich zum Subtropenjet durch seine in der Einleitung zu diesem Kapitel erwähnte starke Mäandrierung an Einzeltagen erklärt wird. Nach Norden hin nimmt K_z in der Troposphäre rasch ab. In der Stratosphäre ist der Bereich von 40 bis 65°N zwischen den Druckflächen 150 und 50 mb durch eine Brücke hoher zonaler kinetischer Energie (im Zentrum mehr als $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$) gekennzeichnet, welche die beiden dominierenden Maxima in diesem Schnitt (Subtropen- und polarer Nachtjet) miteinander verbindet. Die zonale kinetische Energie des polaren Nachtjets beträgt an der Obergrenze dieser Schnitte (der 10 mb-Fläche) bereits $899 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Diesen Zentren von durch Westwinde erzeugter zonaler kinetischer Energie stehen nur sehr energiearme Gebiete gegenüber, in denen K_z aus Ostwinden resultiert. Ein solches Gebiet erreicht in 30 km Höhe über dem Äquator gerade $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Die durch den Nordostpassat erzeugte kinetische Energie erreicht in 9°N und in der 750 mb-Fläche mit $22 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ihren Spitzenwert. Getrennt werden die Bereiche der West- bzw. Ostwinddrift durch eine Nulllinie von zonaler kinetischer Energie

mit umgekehrt s-förmigem Verlauf zwischen etwa 10 und 30°N. Im unteren Teil der Troposphäre und in der unteren Stratosphäre greift der Ostwindbereich etwas weiter nordwärts aus, während er im dazwischenliegenden Stockwerk nur eine relativ schmale Breitenzone über den niedrigen Breiten einnimmt.

FEBRUAR (siehe Abb. 2)

Der Kern des Hauptenergiemaximums im Februar-Schnitt, hervorgerufen durch den Subtropenstrahlstrom, hat sich im Vergleich zum Vormonat nur geringfügig nach Norden bei gleichbleibender Höhe verlagert (31°N, 190 mb). Seine Intensität hat um etwa $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ auf $1128 \text{ m}^2/\text{s}^2$ abgenommen. Der Polarjet ist als starke Nordwärtsausbuchtung der 100-, 150- und $200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ -Isolinien in der Nähe der 300 mb-Fläche zu erkennen. In seinem Zentrum über 51°N beträgt K_z $138 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Nördlich von 60°N ist die zonale kinetische Energie in der Troposphäre immer geringer als $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$, am Pol schließlich Null. Aufwärts und über die mittleren Breiten hinweg bleibt die Verbindung zum polaren Nachtjet hin aufrecht. Dieser ändert seine Lage nicht wesentlich, verliert jedoch bereits merklich an Intensität im Gegensatz zum Januar ($730 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 63,5°N).

Auch an dem durch den Nordostpassat hervorgerufenen Energieschwerpunkt über 9°N in der 750 mb-Fläche hat sich gegenüber dem Vormonat wenig geändert, wohingegen das äquatoriale Ostwindmaximum in etwa 30 km Höhe etwas an Intensität gewonnen hat ($113 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Die die Ost- und Westwindbereiche trennende Nulllinie der kinetischen Energie erfährt keine wesentlichen Veränderungen relativ zum Januar.

MÄRZ (siehe Abb. 3)

Eine deutliche Abschwächung der winterlichen Zirkulation wird schon im März feststellbar. Die Intensität des immer noch das Bild beherrschenden Energiezentrums, welches mit dem Subtropenjet einhergeht, hat um etwa ein Viertel abgenommen und beträgt nur noch $924 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 32°N. Dagegen ist das

durch diesen Strahlstrom beeinflusste Gebiet nicht kleiner geworden, so daß der Gradient in der Verteilung von K_z merklich abgenommen hat. Dieser Einflußbereich des Subtropenstrahlstroms reicht von etwa 15°N bis 45°N und vertikal von der 700- bis etwa zur 50 mb-Fläche aufwärts. Mit dieser allgemeinen Abnahme des Gradienten geht einher, daß seine in den Vormonaten sehr deutliche Zunahme zum eigentlichen Strahlstromkern hin jetzt nicht mehr so ausgeprägt erfolgt. Weiterhin bleibt der Polarjet mit einem K_z -Wert von jetzt $103 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 54°N nahe der 290 mb-Fläche in Form einer Ausbuchtung der Isolinien nach Norden erkennbar. Auch im März bleibt eine Verbindung in der K_z -Verteilung zum weiter abgeschwächten polaren Nachtjet hin erhalten, wenngleich sie nur noch stark verschmälert in Erscheinung tritt und in ihrem Bereich kaum mehr höhere Energien als $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$ angetroffen werden. Im Bereich des polaren Nachtjets, dessen Erzeugungsgrund, die totale solare Strahlungsausblendung des Polargebietes, im März schon fast ganz fortfällt, treten bei Windgeschwindigkeiten von maximal $21 \text{ m}^2/\text{s}^2$ nur noch Energiewerte bis $218 \text{ m}^2/\text{s}^2$ auf.

Die aus den Ostwinden resultierenden Energiebeträge sind auch in diesem Monat noch verschwindend gering gegenüber den Westwind erzeugten Maxima: Nordostpassat bis $16 \text{ m}^2/\text{s}^2$, stratosphärisches Äquatormaximum $117 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

APRIL (siehe Abb. 4)

Der Übergang zur sommerlich antizyklonischen Zirkulationsform wird in diesem Monat an mehreren Stellen sehr deutlich. Der polare Nachtjet ist gänzlich aus dem Kartenbild verschwunden. Mit ihm hat sich auch die Verbindung im Feld von K_z , die in den Hauptwintermonaten über 50 bis 60°N eine rasche Windabnahme mit der Höhe verhinderte, aufgelöst mit der Konsequenz, daß alle Isolinien rund um das immer schwächer werdende Subtropenjet-Maximum ($659 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 34°N) fast konzentrische Kreise bilden. Wenn man einmal von kleineren Unregelmäßigkeiten, wie sie zum Beispiel - wie früher besprochen - vom Polar-

jet erzeugt werden (Zentrum über 58°N in der 290 mb-Fläche, Intensität $61 \text{ m}^2/\text{s}^2$), absieht. Alle Systeme weisen eine weitere Verlagerung nach Norden auf. Der Einfluß des Polarjets reicht jetzt bis über 60°N hinaus und das bisher im Winter in der Südhalbkugel gelegene Ostwindzentrum verlagert sich von dort über den Äquator hinaus bis etwa 8°N in die Nordhalbkugel hinein. Es nimmt dabei an Intensität weiter zu.

Die Nulllinie, bisher trotz ihres geschwungenen Verlaufes eher eine Grenze in der Horizontalen, trennt jetzt auch in der Vertikalen ost- und westwinderzeugte kinetische Energiebereiche und am oberen Rand des Bildes (im 10 mb-Niveau) herrschen bereits durchgehend über alle Breiten hinweg Ostwinde.

MAI (siehe Abb. 5)

Im Bereich des Subtropenstrahlstroms ist der Betrag der zonalen kinetischen Energie zum Mai hin weiter gesunken (jetzt mit $409 \text{ m}^2/\text{s}^2$ nur noch knapp ein Drittel des Januarbetrages). Zudem hat sich sein Kern nordwärts bis etwa 38°N verlagert. Als Folge der im Polaren Bereich immer starker werdenden Sonneneinstrahlung zieht sich die polare Luftmasse bei gleichzeitiger Erwärmung immer weiter nach Norden zurück. Dabei verliert auch ihre südliche Begrenzung (Polarfront) an Baroklinität und der sich an ihrer Obergrenze befindliche Strahlstrom schlägt sich bei der hier vorgenommenen zeitlichen und zonalen Mittelung im Kartenbild nicht mehr stark nieder ($30 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 63°N).

Die in den unteren troposphärischen Schichten durch Ostwinde (Passat) erzeugte kinetische Energie bleibt auch weiterhin recht mäßig, während sie in der Stratosphäre durch den seit April verstärkt einsetzenden Umschlag der Windrichtung auf Ost einen immer größeren Anteil an der Gesamtenergie einnimmt. Neben dem schon für alle Vormonate beschriebenen, auch jetzt noch äquatornahen Maximum, in dessen Zentrum die zonale kinetische Energie K_z bereits $229 \text{ m}^2/\text{s}^2$ erreicht, stellt sich über nördlichen Breiten und in großer Höhe (10 mb) ein weiteres Energiemaximum ein, so daß jetzt oberhalb der

40 mb-Fläche alle kinetische Energie aus Ostwinden resultiert.

JUNI (siehe Abb. 6)

Zum ersten Mal im Jahresablauf ist die kinetische Energie des Subtropenjets nicht mehr die dominierende: Mit nurmehr $265 \text{ m}^2/\text{s}^2$ im Zentrum über 40°N und nahe der 190 mb-Fläche wird sie von der Energie des im 10 mb-Niveau schon stark ausgeprägten sommerlichen stratosphärischen Ostwindwirbels mit Maximum über 16°N (hier $365 \text{ m}^2/\text{s}^2$) übertroffen. Auch das zweite stratosphärische Zentrum stärkerer Ostwinde zwischen 60 und 70° nördlicher Breite hat seit Mai mit $215 \text{ m}^2/\text{s}^2$ weiter an Energie gewonnen. Südlich von 20°N bleibt K_z außer im besprochenen stratosphärischen Bereich ebenso wie in allen übrigen Breitenzonen unterhalb von 500 mb gering ($< 50 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Interessante Vorgänge, wie der Beginn des Übergreifens des Südost-Passates auf die Nordhalbkugel, bleiben daher quantitativ zu gering, um in diesen Querschnitten deutlich feststellbar zu werden. Der Leser mag sie den beigefügten Tabellen für K_z entnehmen.

JULI (siehe Abb. 7)

Der im Juli-Bild weiter eingeeengte und abgeschwächte Energiebereich, verbunden mit beiden Strahlströmen, weist nurmehr vier eigene Isolinien im Abstand von $50 \text{ m}^2/\text{s}^2$ und eine maximale Energie von $235 \text{ m}^2/\text{s}^2$ auf, was nur noch ein Fünftel der winterlichen Energie ausmacht. Daher hat er entscheidend gegenüber der Winterzeit an Stärke verloren. Er ist in diesem Hauptsommermonat über 45°N situiert und dies ist seine nördlichste Lage im Verlauf des Jahres. Der Polarjet findet sich über 67°N nahe der 285 mb-Fläche. Er kann sich in der Darstellung der K_z -Verteilung mit maximal $16 \text{ m}^2/\text{s}^2$ praktisch kaum erkennbar machen. Mit Ausnahme eines schmalen Vertikalbereiches oberhalb der Strahlströme ist die ganze zonale kinetische Energie in der unteren Stratosphäre oberhalb der 100 mb-Fläche der dort herrschenden sommerlichen Ostwindzirkulation zuzuschreiben. An der Obergrenze des Schnittes (10 mb)

erreichen die Ostwinde bei 15°N mit $32 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ihre größte Stärke, was einen K_z -Betrag von $496 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ergibt. Von diesem Kernbereich erstrecken sie sich nordwärts und abwärts bis in 24°N am Boden mit einer markanten Zunge hoher K_z -Werte ($> 50 \text{ m}^2/\text{s}^2$) über 5°N etwa in der 200 mb-Fläche. Aus der Tabelle ist in Bodennähe eine Doppelstruktur der Passate beider Hemisphären erkennbar, dessen Windgeschwindigkeiten aber unter jenen des Winters bleiben (nur wenige m/sec).

Trotz der oben beschriebenen wesentlich höheren Ostwindanteile an der Gesamtenergie des planetarischen Wirbels im Gegensatz zum Winter bleibt diese erheblich geringer, da die Strahlungsgegensätze, welche den Austausch von Wärme erzwingen, im Sommer ihren kleinsten Betrag haben.

AUGUST (siehe Abb. 8)

Die Veränderungen gegenüber dem Vormonat bleiben recht gering. Lage und Stärke des Subtropenstrahlstroms haben sich wenig geändert (44°N , $255 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Der Polarjet hinterläßt weiterhin nur schwache Spuren (68°N , $23 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Fast die gesamte zonale kinetische Energie der Stratosphäre resultiert aus den dort vorherrschenden, allerdings wieder etwas abgeschwächten Ostwinden, deren größte Energie weiterhin über 14°N in der 10 mb-Fläche anzutreffen ist ($285 \text{ m}^2/\text{s}^2$), von wo aus sich eine Zunge hoher kinetischer Energie zu einem sekundären Maximum ($73 \text{ m}^2/\text{s}^2$) über 50°N nahe der 200 mb-Fläche hinzieht. Es befindet sich genau über dem meteorologischen Äquator, an dessen Nord- bzw. Südflanke die Passate beider Hemisphären anzutreffen sind, die quantitativ aber weiter unter den bisher diskutierten Zentren von K_z liegen.

Der in den Monaten Juni und Juli beschriebene Energieschwerpunkt über den hohen nördlichen Breiten ist aus dem Kartenbild wieder verschwunden, läßt sich aber in der dazugehörigen Tabelle mit $28 \text{ m}^2/\text{s}^2$ noch schwach erkennen. Die Ursache dafür ist die in weiten Teilen der Arktis bereits wieder nicht mehr so wirksame Sonneneinstrahlung.

SEPTEMBER (siehe Abb. 9)

Der meridionale Querschnitt der zonalen kinetischen Energie für den September zeigt deutlich, daß die sommerliche Zirkulationsform ihr Ende gefunden hat und die Umstellung zur winterlichen Westwind-Zirkulation beginnt. In Einklang mit dem Anwachsen des polaren Kältereservoirs beginnen sich alle Systeme wieder nach Süden zu verlagern. Das Zentrum der zonalen kinetischen Energie des Subtropenjets hat sich im Vergleich zum Vormonat um fast 5 Breitengrade nach 41°N südwärts verlagert und entsprechend auch der Polarjet, der jetzt wieder deutlicher als Nordwärtsausbuchtung der Isolinien erkennbar wird (63°N , $67 \text{ m}^2/\text{s}^2$). Der Betrag von K_z im Subtropenjet liegt mit $308 \text{ m}^2/\text{s}^2$ allerdings noch eher sommerlich niedrig.

Die stratosphärischen Ostwinde im September haben an Intensität abgenommen bzw. sind in mittleren und nördlichen Breiten schon wieder durch Westwinde abgelöst. Folglich ist ihr Anteil an der Gesamtenergie des Monats erheblich reduziert. Starke Ostwinde mit hohen Energiebeträgen findet man nur noch in den oberen Flächen der Abbildung im tropischen- und subtropischen Bereich. Ihr Zentrum liegt über 10°N , wo K_z $183 \text{ m}^2/\text{s}^2$ beträgt. Die troposphärischen Ostwinde, welche außer direkt am Boden auf tropische- und subtropische Bereiche beschränkt bleiben, liefern zur Gesamtenergie nur einen sehr kleinen Beitrag, wenn man einmal einen kleinen tropischen Bereich am oberen Rand der Troposphäre ($39 \text{ m}^2/\text{s}^2$ über 0° der 240 mb-Fläche) außer Acht läßt.

OKTOBER (siehe Abb. 10)

Die im September einsetzende allmähliche Umstellung der Zirkulation wird im Oktober endgültig vollzogen. Daher erhält dieser Monat qualitativ schon eine vorwinterliche Prägung: Die zonale kinetische Energie des Subtropenstrahlstroms, der bis etwa 37°N südwärts verschoben ist, steigt jetzt auf $459 \text{ m}^2/\text{s}^2$ an. Gleichzeitig nimmt im oberen Teil der unteren Stratosphäre die kinetische Energie zu (erste Anzeichen der

Bildung des polaren Nachtjets, dessen Entstehungsursache nämlich die völlige Strahlungsausblendung des Polargebietes jetzt vollzogen ist). Ein Aufstieg zwischen 50 und 60°N zeigt in allen Schichten oberhalb der Bodenreibungsschicht starke Energie (50 bis 200 m²/s²). Im Bereich des Polarjets beträgt K_Z jetzt 117 m²/s².

Der im Ablauf des Jahres sich einstellende Bereich mit starken Ostwinden oberhalb der 10 mb-Fläche hat sich wieder ganz über den Äquator hinweg in die Südhalbkugel zurückgezogen. K_Z beträgt dort 123 m²/s². Sein Einfluß auf die darunter liegenden Schichten hat ebenfalls stark abgenommen, nur bei 170 mb werden noch Spitzenwerte bis 19 m²/s² angetroffen. Dafür nimmt mit der Zunahme des Nordostpassates (der SO-Passat hat sich längst wieder auf die Südhalbkugel zurückgezogen) K_Z dort wieder zu, bleibt aber für die Gesamtsumme von K_Z weiterhin mit nur 11 m²/s² fast belanglos.

NOVEMBER (siehe Abb. 11)

Die vollständige Umstellung auf die winterliche Westwind-Zirkulation wird im Meridionalschnitt dieses Monats deutlich: Die Energie des Subtropenstrahlstroms hat sich gegenüber dem Sommer mehr als verdoppelt. Durch diese Intensivierung bei gleichzeitiger Südverlagerung seines Kernes bis etwa 32°N liegen nun praktisch alle Schichten des betrachteten Teiles der Atmosphäre nördlich von etwa 25°N im Einflußbereich eines riesigen in sich geschlossenen Westwindwirbels mit drei ausgeprägten Schwerpunkten:

Subtropenjet (32°N, 190 mb, 703 m²/s²)

Polarjet (54°N, 290 mb, 139 m²/s²)

polarer Nachtjet (60°N, 10 mb, 351 m²/s²).

Jener Anteil der zonalen kinetischen Energie, welcher in diesem Monat aus Ostwinden resultiert, beträgt schon weniger als 5 %. Seine Hauptursachen sind das stratosphärische Ostwindgebiet über dem Äquator mit bis 116 m²/s² und der weit nach Süden gerückte, aber intensivierte Nordostpassat (16 m²/s² über 9°N über 800 mb).

DEZEMBER (siehe Abb. 12)

Gegenüber dem Vormonat hat der Gehamtinhalt von K_z um zwei Drittel zugenommen. Die beiden Hauptursachen hierfür sind einmal die Intensivierung des Subtropenstrahlstromes von 578 auf $920 \text{ m}^2/\text{s}^2$ bei gleichzeitiger, wenn auch nur geringerer Vergrößerung eines Einflußbereiches (was eine starke Gradientzunahme erfordert) und zum anderen die abgeschlossene vollständige Ausprägung des polaren Nachtjets in der mittleren Stratosphäre über etwa 60° nördlicher Breite. Die im 10 mb-Niveau bis 36 m/s angestiegenen Westwinde bewirken hier kinetische Energien von $634 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Der polare Strahlstrom und die Brücke hoher kinetischer Energie mit Werten über $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$ zwischen 45 und 65°N im mittleren Teil der unteren Stratosphäre erfahren eine starke winterliche Ausprägung.

Der Ostwindanteil an der gesamten zonalen kinetischen Energie K_z beträgt etwa 2,5 %. Derartige Vergleichszahlen werden im nächsten Kapitel eingehender erläutert. Von diesen 2,5 % befindet sich der größte Anteil über dem Äquator in gut 30 km Höhe, wo noch $112 \text{ m}^2/\text{s}^2$ angetroffen werden. Obwohl die zonale kinetische Energie des Nordost-Passates mit $17 \text{ m}^2/\text{s}^2$ fast ihre größte Stärke erreicht, bleibt sie in einer Gegenüberstellung der West- zur Ostwind erzeugten kinetischen Energie völlig bedeutungslos.

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2
für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der
Nordhemisphäre

JANUAR

ϕ °	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	3.1	6.8	12.5	4.8	3.1	1.2	8.8	2.4	2.9	2.9	2.2	2.2	0	1	1	2	3
900	4.7	16.8	28.5	3.1	.2	4.2	28.1	12.5	11.5	11.0	7.2	2.2	.6	.3	.1	.0	.0
800	11.5	20.5	8.8	8.0	21.1	60.5	57.2	25.2	22.4	12.5	10.1	6.1	2.2	1.1	.7	.0	.0
700	13.5	16.8	2.4	4.5	50.0	105.1	87.1	46.1	37.0	23.8	16.8	8.0	4.2	2.6	1.8	.7	.1
600	17.4	11.0	.2	23.8	76.4	178.6	141.1	73.2	57.2	37.0	25.9	16.8	8.0	4.2	3.4	1.8	.7
500	18.0	3.1	8.0	54.1	153.1	206.0	178.6	111.0	81.9	58.3	37.0	25.9	16.8	4.2	6.1	2.9	1.4
400	15.1	.0	32.4	134.2	273.8	420.5	220.5	163.8	123.2	80.6	44.2	37.0	23.8	12.0	9.7	5.8	2.4
350	12.5	.0	42.3	162.0	364.5	557.8	369.9	235.4	174.8	98.0	54.2	44.2	23.8	16.8	12.0	7.2	3.4
300	8.4	2.2	46.1	174.8	480.5	737.3	315.0	219.6	149.6	128.0	58.3	44.2	23.8	19.8	15.7	8.4	4.2
280	7.6	2.6	46.1	174.8	480.5	737.3	315.0	219.6	149.6	128.0	58.3	44.2	23.8	21.8	15.7	8.4	4.2
260	4.2	6.1	50.0	188.2	512.0	844.5	578.0	367.2	248.6	164.3	124.8	63.8	35.3	23.1	17.4	9.2	5.1
240	8.8	5.4	52.0	196.0	528.1	1067.7	619.5	383.6	231.1	154.9	123.2	68.4	37.0	25.2	18.0	10.1	5.1
220	8.4	5.4	53.0	200.0	528.1	1162.7	684.5	394.8	202.0	149.6	120.1	74.4	41.4	26.6	18.6	10.1	5.1
200	7.6	4.5	53.0	204.0	528.1	1235.7	710.6	378.1	192.1	149.6	118.6	79.4	45.1	28.1	21.1	10.1	4.5
190	7.2	4.2	52.0	204.0	518.4	1152.7	706.9	364.9	186.2	142.8	118.6	83.2	49.0	33.6	21.1	10.1	4.5
180	7.2	4.2	52.0	204.0	518.4	1152.7	706.9	364.9	186.2	142.8	118.6	83.2	49.0	33.6	21.1	10.1	4.5
170	7.2	4.2	50.0	204.0	496.1	1035.7	695.6	351.1	182.4	144.5	121.7	87.1	54.1	35.3	21.8	10.1	4.2
160	6.8	4.2	47.0	200.0	468.2	903.1	618.0	338.0	182.4	144.5	123.2	92.5	58.3	38.7	23.1	10.1	4.2
150	6.8	4.2	47.0	200.0	468.2	903.1	618.0	338.0	182.4	144.5	123.2	92.5	58.3	38.7	23.1	10.1	4.2
140	6.5	4.2	47.0	180.5	426.3	760.5	612.5	320.0	180.5	144.5	126.4	98.0	62.7	40.5	25.2	11.0	4.2
130	6.5	4.2	40.5	158.4	383.6	655.2	571.2	312.5	180.5	151.7	126.4	103.7	68.4	46.1	25.4	11.5	4.2
120	6.5	4.2	32.0	144.5	338.0	554.9	515.2	297.7	180.5	151.7	126.4	103.7	68.4	46.1	25.4	11.5	4.2
110	5.8	4.5	19.8	115.5	295.2	460.5	462.1	273.8	178.6	163.8	117.1	115.5	80.6	51.0	28.9	12.0	3.4
100	5.8	4.5	19.8	115.5	295.2	460.5	462.1	273.8	178.6	163.8	117.1	115.5	80.6	51.0	28.9	12.0	3.4
90	5.8	4.5	13.5	76.4	196.0	332.8	318.5	224.7	178.6	164.3	156.6	129.6	87.1	62.7	37.0	13.5	2.9
80	5.8	4.5	8.8	54.1	147.9	253.1	264.5	196.0	164.3	164.3	156.6	141.1	114.0	80.6	42.3	15.1	2.4
70	5.8	4.5	3.6	32.8	98.0	158.4	196.0	178.6	164.3	164.3	156.6	141.1	114.0	80.6	42.3	15.1	2.4
60	6.5	4.5	.5	16.8	54.2	44.0	144.5	156.6	156.6	154.9	173.3	156.6	128.0	93.8	57.2	18.6	2.4
50	4.0	4.5	.1	6.5	27.4	50.0	75.6	96.6	103.7	115.5	176.7	204.0	174.8	112.5	77.3	29.1	2.2
40	14.0	13.5	1.4	1.3	11.5	25.9	38.7	47.0	60.5	98.0	204.0	253.1	224.7	174.8	104.5	40.5	3.1
35	18.6	18.0	3.9	.5	2.4	6.5	14.2	28.1	47.0	131.2	273.8	327.7	295.2	231.1	151.4	57.2	8.8
30	25.9	22.4	7.2	1.4	.2	3.6	9.7	18.0	44.2	117.7	273.8	364.5	356.6	262.8	178.6	70.8	11.0
25	38.7	30.4	14.2	2.6	.0	2.2	7.2	14.6	46.1	176.7	364.5	462.1	421.2	375.4	255.4	108.0	15.1
20	54.1	26.6	15.7	4.8	.0	1.0	5.1	14.0	56.2	216.4	420.5	537.9	561.1	453.0	312.5	131.2	25.9
175	73.2	37.4	18.6	6.1	.3	1.0	6.8	18.0	72.0	280.8	480.5	591.7	623.0	499.3	345.8	149.6	30.4
15	83.2	44.2	23.1	7.6	.5	2.0	9.2	24.5	79.4	280.8	537.9	662.5	688.2	561.1	386.4	174.8	34.4
125	84.8	78.1	28.1	10.1	1.0	2.0	13.5	32.0	103.7	332.8	623.0	760.5	768.3	626.6	435.1	206.0	39.4
10	100.0	52.4	28.1	10.1	1.0	2.0	13.5	43.2	131.2	411.8	741.1	886.2	877.8	710.6	494.1	235.4	45.1

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abtändige Breiten der Nordhemisphäre

FEBRUAR

$0^{\circ}N \rightarrow$ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	2.4	2.4	6.8	8.4	4.8	2.0	0.0	1.0	1.1	1.8	1.8	7.2	0.0	1.1	1.1	2.0	2.0	2.2
900	1.1	7.2	18.6	14.0	4.5	1.0	4.2	10.6	9.2	8.4	4.4	4.2	1.0	7.7	5.5	2.0	1.0	0.7
800	.5	13.5	19.8	10.1	.0	37.0	59.2	24.6	22.4	21.8	18.6	10.1	4.2	2.9	2.0	1.0	.4	.2
700	.2	18.5	14.5	3.9	4.5	37.0	59.2	24.6	22.4	21.8	18.6	10.1	4.2	2.9	2.0	1.0	.4	.2
600	9.2	19.8	13.5	.2	24.5	83.2	98.0	56.2	85.8	65.0	54.1	32.0	15.1	10.6	6.4	3.1	2.0	.7
500	13.0	19.6	8.0	3.1	57.2	165.6	202.0	102.2	134.4	98.0	80.6	50.0	24.5	17.4	11.0	5.1	2.9	1.1
400	15.1	15.1	2.0	23.1	137.8	277.7	367.2	300.1	196.0	147.4	114.0	75.6	38.7	25.4	16.8	8.4	4.8	3.6
350	15.1	13.5	.8	36.1	146.0	342.0	480.5	389.2	235.4	167.4	132.8	93.8	52.0	32.8	19.8	11.0	6.1	4.5
300	15.1	11.0	2.0	65.0	212.0	496.1	626.4	512.2	280.8	192.1	153.1	115.5	63.8	39.6	25.8	13.0	7.2	5.4
280	15.1	9.7	3.1	73.2	257.6	544.6	733.4	564.5	302.6	202.0	147.9	100.8	66.1	45.1	25.4	14.0	8.8	5.4
260	15.1	8.4	4.4	78.1	271.4	578.0	793.5	619.5	322.6	214.2	157.9	108.0	67.3	48.0	27.4	15.6	9.8	5.4
240	15.1	7.6	5.2	80.6	288.0	626.4	848.7	649.5	345.8	218.4	162.0	108.0	67.3	48.0	27.4	15.6	9.8	5.4
220	15.1	6.1	6.1	87.1	305.0	655.2	874.2	676.0	367.2	218.4	162.0	108.0	67.3	48.0	27.4	15.6	9.8	5.4
200	15.1	5.1	8.0	95.2	312.5	677.1	912.8	703.1	384.9	180.5	140.5	95.2	67.3	53.0	29.6	18.0	11.5	7.6
190	15.1	4.5	8.0	98.0	312.5	684.5	912.8	703.1	384.9	180.5	140.5	95.2	67.3	53.0	29.6	18.0	11.5	7.6
180	14.6	4.2	8.0	98.0	312.5	684.5	912.8	703.1	384.9	180.5	140.5	95.2	67.3	53.0	29.6	18.0	11.5	7.6
170	14.0	4.2	7.2	95.2	312.5	666.1	882.3	684.5	361.8	162.0	128.4	80.6	65.0	50.5	35.3	21.1	13.0	9.2
160	14.0	3.6	7.2	91.1	307.5	644.5	848.7	648.4	348.5	156.6	128.4	78.1	62.7	48.0	38.7	22.4	13.5	9.2
150	13.5	3.6	6.1	78.1	288.0	584.5	812.0	612.0	335.4	153.4	128.4	78.1	62.7	48.0	38.7	22.4	13.5	9.2
140	13.0	3.6	4.5	72.0	253.1	524.9	737.3	581.4	310.0	141.1	117.4	75.6	60.4	43.0	35.3	21.1	13.0	9.2
130	10.6	3.4	3.4	58.3	220.5	462.1	691.9	502.4	264.5	124.5	105.1	69.6	58.4	41.1	35.3	21.1	13.0	9.2
120	9.2	3.4	2.2	47.0	176.7	389.2	561.1	450.2	216.4	105.1	84.8	58.4	58.4	41.1	35.3	21.1	13.0	9.2
110	7.6	3.4	1.1	35.3	131.2	232.5	432.0	389.2	162.0	84.8	66.1	47.0	47.0	35.3	21.1	13.0	9.2	7.6
100	6.5	3.4	.0	24.5	98.0	162.0	332.0	307.5	146.0	74.4	60.5	47.0	47.0	35.3	21.1	13.0	9.2	7.6
90	5.5	3.4	.0	15.7	72.0	109.5	253.1	255.4	158.4	60.5	47.0	47.0	47.0	35.3	21.1	13.0	9.2	7.6
80	4.8	4.8	.0	5.4	40.5	29.6	73.2	89.8	46.1	43.2	35.3	21.1	13.0	9.2	7.6	4.8	4.8	4.8
70	4.0	4.8	1.6	1.1	21.1	12.0	24.5	14.6	11.8	31.2	25.4	21.1	13.0	9.2	7.6	4.8	4.8	4.8
60	3.5	4.2	3.1	.1	6.5	2.0	8.0	8.0	8.0	25.4	21.1	13.0	9.2	7.6	4.8	4.8	4.8	4.8
50	3.0	4.2	2.0	.1	.7	.0	4.5	4.5	4.5	21.1	13.0	9.2	7.6	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
40	2.5	4.2	1.6	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
35	2.3	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
30	2.1	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
25	2.0	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
20	1.8	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
175	1.2	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
15	.8	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
125	.4	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
10	.2	4.2	1.4	.1	.3	.0	3.6	3.6	3.6	14.6	11.8	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0

WÄRZ

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.1	2.4	6.5	10.6	5.1	2.0	8.4	8.8	1.1	1.0	.7	.0	.2	.8	1.0	.7	.2
900	3.1	8.4	13.5	10.6	2.4	5.8	26.6	7.6	6.5	6.1	4.2	1.4	4.4	.0	.0	.0	.1
800	5.1	12.4	15.5	7.4	.0	14.0	58.2	22.4	15.7	14.0	10.1	5.1	2.2	1.0	.6	.2	.1
700	8.0	15.1	14.0	2.4	3.9	50.0	102.2	79.4	31.2	25.9	18.6	9.7	5.4	3.4	2.0	1.1	.7
600	11.0	16.2	12.0	.1	16.2	106.6	167.4	124.8	81.9	45.1	31.2	16.8	10.1	6.5	4.5	2.4	1.4
500	13.5	15.7	5.8	2.6	47.0	312.5	269.1	162.4	121.7	109.5	73.2	39.6	25.2	11.0	7.6	4.5	3.1
400	12.5	13.4	2.4	18.0	106.6	239.8	342.0	239.9	136.6	123.3	88.4	53.0	30.4	21.8	15.1	8.8	5.4
350	12.0	13.0	.0	52.0	250.0	383.6	465.1	259.9	167.4	129.6	103.7	69.6	38.7	25.9	18.5	12.0	8.0
300	12.0	9.7	.4	52.0	150.0	429.2	521.6	271.4	167.4	129.6	103.7	69.6	38.7	25.9	18.5	12.0	8.0
280	12.5	9.2	1.0	59.4	216.3	564.5	521.6	271.4	167.4	129.6	103.7	69.6	38.7	25.9	18.5	12.0	8.0
260	13.0	8.8	1.6	67.3	242.0	630.1	578.0	292.8	176.7	132.8	91.1	75.6	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
240	13.0	8.0	2.2	75.6	253.5	703.1	651.6	322.6	188.2	118.4	75.6	62.7	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
220	14.0	8.0	3.1	78.1	269.5	788.8	703.1	358.5	187.4	102.2	62.7	42.7	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
200	14.0	7.2	3.1	80.6	280.8	886.2	714.4	378.5	167.4	92.2	51.0	49.0	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
190	14.0	6.5	3.1	80.6	280.8	886.2	714.4	378.5	167.4	92.2	51.0	49.0	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
180	13.5	6.1	3.1	80.6	278.5	894.6	714.4	378.5	163.8	87.1	49.0	40.5	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
170	13.0	5.8	3.1	76.4	278.5	894.6	714.4	378.5	158.4	83.2	49.0	40.5	42.7	25.9	19.2	13.5	8.8
160	12.0	5.4	2.9	72.0	253.1	801.0	581.4	312.5	153.1	80.6	51.0	44.2	31.2	23.8	18.6	13.5	8.0
150	11.0	5.4	2.4	61.6	233.3	725.8	626.8	302.6	146.6	74.4	53.0	44.2	31.2	23.8	19.2	13.5	8.0
140	11.0	5.4	2.2	51.0	200.0	673.4	547.8	283.2	137.8	72.0	55.1	48.0	37.8	27.4	19.2	13.5	8.0
130	10.1	5.4	1.4	39.6	165.8	505.6	438.1	259.9	132.8	69.6	56.2	56.2	44.2	29.6	14.8	11.0	8.0
120	8.4	5.1	.6	28.1	137.8	392.0	364.5	244.2	118.6	62.7	56.2	56.2	44.2	29.6	14.8	11.0	8.0
110	8.4	5.1	.2	28.1	137.8	392.0	364.5	244.2	118.6	62.7	56.2	56.2	44.2	29.6	14.8	11.0	8.0
100	7.4	4.1	.0	18.0	84.5	208.0	264.5	176.8	108.0	50.0	53.0	67.3	44.2	35.3	25.2	14.2	8.0
90	8.8	6.1	1.6	10.6	65.0	208.0	264.5	176.8	81.9	44.2	54.1	72.0	67.3	44.2	28.9	11.0	8.0
80	11.0	8.0	2.0	4.5	3.1	89.8	147.9	112.5	70.8	37.8	54.1	75.6	67.3	44.2	21.8	13.0	8.0
70	13.5	14.0	4.5	.0	13.5	85.8	99.4	81.9	55.1	29.6	55.1	83.2	75.6	60.5	40.5	25.9	13.0
60	16.2	14.0	8.0	1.6	2.4	46.1	25.9	56.2	38.7	15.7	69.6	118.6	129.6	105.1	72.0	32.0	17.4
50	19.2	17.4	13.0	3.9	.1	.0	1.6	3.9	6.1	15.1	72.0	147.9	151.4	117.0	80.5	43.0	21.1
40	24.5	23.1	19.2	12.5	8.0	.0	2.6	3.6	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
35	27.4	26.6	23.8	24.6	16.8	.0	1.6	4.8	8.8	15.7	69.6	129.6	136.1	117.0	120.1	76.9	37.0
30	32.8	32.0	29.6	29.6	23.8	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
25	38.8	37.0	34.0	34.0	21.1	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
20	48.0	47.0	44.0	44.0	18.6	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
15	60.6	60.6	57.0	57.0	15.1	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
10	80.6	80.6	77.0	77.0	11.0	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
5	110.6	110.6	107.0	107.0	7.4	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4
0	140.6	140.6	137.0	137.0	3.9	.0	2.4	3.1	8.0	18.6	78.1	147.9	162.0	132.8	106.6	60.5	32.4

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

APRIL

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.1	2.0	4.5	5.4	5.1	3.0	1.1	6.0	1.4	1.4	5.0	0.6	4.0	1.0	1.1	1.4	6.0
900	2.6	5.4	9.5	8.8	2.4	2.4	4.2	5.8	6.8	6.1	3.9	0.6	1.4	0.0	1.1	2.0	1.0
800	3.4	10.6	13.5	6.1	3.3	1.4	13.5	16.8	15.7	12.5	8.8	3.1	3.6	0.4	2.0	0.0	1.0
700	8.0	14.0	11.5	2.2	1.0	37.0	36.1	33.6	28.1	16.2	16.2	6.8	1.4	2.0	1.0	0.0	1.0
600	12.0	14.0	7.6	2.3	32.0	74.4	62.7	63.8	46.1	37.0	26.6	13.0	6.8	1.8	3.1	1.4	2.0
500	12.0	10.6	3.6	1.4	24.0	123.2	123.2	103.7	70.8	55.1	40.5	22.4	12.0	8.4	6.1	3.1	1.4
400	11.0	6.8	1.0	9.2	53.0	124.8	212.2	158.4	111.0	81.9	56.2	36.1	21.1	14.0	9.7	5.8	2.0
350	9.2	5.1	0.3	18.0	75.6	264.5	276.1	198.0	134.5	93.8	67.3	41.2	25.4	16.8	12.5	6.1	2.4
300	8.0	4.8	0.0	25.2	100.8	343.2	369.9	250.9	162.0	111.0	76.9	51.0	28.1	14.8	14.0	7.2	3.1
280	7.6	5.1	0.0	30.1	119.6	369.9	414.7	276.1	180.5	120.1	78.1	50.0	27.4	23.1	14.6	6.8	3.1
260	6.0	5.4	0.0	32.0	128.0	435.1	505.6	335.4	194.0	105.1	54.1	32.0	23.8	16.0	14.0	7.2	3.1
240	4.0	6.8	0.0	34.4	134.5	459.0	559.0	364.5	194.0	89.8	37.0	26.6	20.5	14.2	12.5	6.1	2.4
220	13.0	8.4	0.0	37.0	139.4	459.0	655.2	378.1	188.2	84.5	28.1	19.2	14.6	12.5	11.0	5.8	2.4
200	13.5	9.7	0.0	35.3	139.4	459.0	655.2	378.1	188.2	84.5	28.1	19.2	14.6	12.5	11.0	5.8	2.4
180	13.5	9.7	0.0	32.0	137.4	438.1	655.2	369.4	176.7	78.1	26.6	13.5	12.0	11.5	10.1	5.4	2.2
160	12.0	9.2	0.0	31.2	129.8	420.5	626.6	332.8	162.0	74.4	24.5	12.0	11.5	10.6	8.4	4.8	2.2
140	11.5	8.8	0.4	27.4	118.6	371.0	567.8	312.5	154.9	69.6	24.5	11.5	11.0	10.6	7.2	4.2	2.0
130	11.0	8.8	0.6	18.0	89.8	214.2	335.4	253.1	118.6	58.3	18.6	10.1	10.6	10.1	7.2	4.2	2.0
120	10.6	8.8	1.3	11.0	78.1	186.2	288.0	226.8	103.7	47.0	12.5	7.6	9.2	9.2	6.5	3.4	1.8
110	10.1	9.2	2.0	6.5	59.4	149.6	246.4	192.1	88.4	37.8	11.0	5.1	8.8	8.0	5.4	3.4	1.4
100	9.7	9.7	3.9	5.8	43.2	112.5	188.2	154.9	75.6	28.1	8.8	4.8	8.0	7.2	4.5	2.6	1.4
90	10.6	9.7	5.1	1.1	22.4	44.1	108.6	89.8	54.1	19.2	8.8	4.8	8.0	7.2	4.5	2.6	1.4
80	10.6	10.6	5.1	1.1	22.4	44.1	108.6	89.8	54.1	19.2	8.8	4.8	8.0	7.2	4.5	2.6	1.4
70	9.7	11.0	10.1	3.6	2.2	1.3	6.5	58.3	32.8	11.5	6.1	3.6	5.8	5.1	3.6	2.4	1.0
60	9.2	11.5	12.0	8.4	1.3	1.3	28.1	8.0	6.5	3.1	2.4	2.6	4.5	5.1	2.9	2.0	0.8
50	10.1	14.0	18.0	15.1	6.5	2.0	28.1	6.1	6.5	3.1	2.4	2.6	4.5	5.1	2.9	2.0	0.8
40	20.1	25.9	29.6	28.1	7.7	1.1	1.6	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.1	1.1	1.3	0.5
35	28.1	33.6	37.0	37.0	12.5	2.0	0.0	2.2	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.1	1.1	1.3	0.5
30	35.3	47.0	45.1	47.0	19.2	5.1	0.0	1.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	1.1	1.3	0.5
25	44.0	57.4	45.1	47.0	27.4	8.8	0.0	1.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	1.1	1.3	0.5
20	74.4	74.4	60.8	66.1	37.8	12.0	1.4	1.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	1.1	1.3	0.5
15	87.1	103.7	114.0	98.0	38.7	15.7	3.1	0.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.3	0.5
10	124.8	153.1	147.4	115.5	40.5	16.8	3.9	0.1	0.3	0.0	1.1	6.1	9.2	9.7	2.4	2.2	1.4

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

MAI

0m+0 mb	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000 2.2	1.0	2.4	4.2	4.5	2.9	.7	.0	.6	1.1	.8	.0	.2	.8	.8	1.3	1.3	.3
900 3.4	3.1	5.1	7.2	4.8	.5	.4	2.6	4.5	5.1	3.9	1.6	.2	.0	.0	.2	.2	.0
800 6.1	6.1	8.8	8.8	2.2	.4	5.4	9.7	12.0	13.0	9.7	4.8	1.8	.7	.3	.0	.1	.1
700 7.6	10.6	12.5	5.4	.1	3.9	18.0	25.2	24.5	23.1	17.4	8.8	5.1	2.6	1.4	.5	.2	.2
600 8.0	11.5	8.8	.5	.8	28.5	35.3	50.0	45.1	58.3	43.2	16.2	9.7	5.4	3.6	1.4	.7	.5
500 8.4	8.8	3.4	.3	4.8	58.3	68.4	49.4	72.0	83.2	62.7	26.6	25.9	10.6	6.5	3.4	.8	.8
400 10.1	9.7	2.9	1.1	26.6	80.6	153.1	156.6	121.7	70.8	37.8	37.8	29.6	23.1	12.0	7.6	4.2	1.4
300 13.5	11.0	3.1	2.6	49.6	111.0	192.1	253.1	210.1	84.5	53.0	33.6	28.1	23.1	13.0	8.8	5.4	2.2
280 14.6	13.0	3.1	3.1	49.6	115.5	231.2	266.8	271.8	88.4	57.2	37.0	37.0	28.9	13.5	8.8	4.8	2.2
260 15.7	14.0	3.1	3.4	43.2	120.5	231.1	295.2	321.4	93.8	60.5	37.0	37.0	25.9	11.5	7.2	4.5	2.2
240 16.8	15.1	3.4	3.6	46.1	132.8	246.4	330.2	305.0	98.0	57.2	32.0	32.0	19.2	11.5	7.2	4.2	2.0
220 16.8	16.2	3.4	3.6	49.0	144.5	255.4	367.2	338.0	98.0	50.0	21.8	21.8	11.5	9.7	6.1	3.6	1.4
200 17.8	16.8	3.6	4.5	50.0	147.9	257.6	380.4	364.5	88.4	40.5	12.0	12.0	8.8	8.8	4.5	2.9	1.4
190 17.4	16.8	3.6	4.5	51.0	146.2	257.6	383.6	364.5	84.5	37.0	10.6	10.6	7.2	6.8	3.6	2.6	1.4
180 17.4	16.2	3.4	3.9	51.0	144.5	255.4	378.1	348.5	81.9	35.3	7.2	7.2	6.1	5.1	3.4	2.6	1.4
170 15.1	15.7	4.5	3.6	51.0	144.5	255.4	364.5	332.8	76.9	32.0	4.8	4.8	3.6	3.1	2.4	2.2	1.4
160 14.6	15.7	5.1	3.1	50.0	142.8	246.4	332.8	300.1	70.8	29.6	2.4	2.4	2.4	2.4	1.6	1.6	1.0
150 13.5	15.7	5.4	2.4	48.0	134.5	235.4	297.7	264.5	65.0	28.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	.7
140 12.5	15.7	5.4	2.2	48.0	134.5	235.4	297.7	264.5	65.0	28.1	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	.7
130 12.0	15.1	6.1	1.3	42.3	118.6	208.1	244.2	216.0	53.0	21.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.1	1.1	.7
120 11.5	15.1	8.0	.6	28.1	45.2	162.0	208.1	167.4	47.0	14.0	1.0	1.0	1.0	1.0	.5	.5	.5
110 11.5	14.6	4.2	.0	22.4	78.1	142.8	176.7	144.5	39.6	10.1	.7	.7	.7	.7	.2	.2	.2
100 11.5	14.6	11.5	.2	12.5	32.0	112.5	144.5	112.5	34.4	7.6	.4	.4	.4	.4	.1	.1	.1
90 11.5	14.6	11.5	.2	12.5	32.0	112.5	144.5	112.5	34.4	7.6	.4	.4	.4	.4	.1	.1	.1
80 11.5	14.6	11.5	.2	12.5	32.0	112.5	144.5	112.5	34.4	7.6	.4	.4	.4	.4	.1	.1	.1
70 11.5	14.6	11.5	.2	12.5	32.0	112.5	144.5	112.5	34.4	7.6	.4	.4	.4	.4	.1	.1	.1
60 11.5	14.6	11.5	.2	12.5	32.0	112.5	144.5	112.5	34.4	7.6	.4	.4	.4	.4	.1	.1	.1
50 12.5	16.2	25.9	25.2	11.0	1.4	1.4	4.2	12.0	.2	.2	.2	.2	.2	.2	.2	.2	.2
40 21.1	20.5	30.4	31.6	25.9	8.4	1.1	.7	1.1	.0	.5	3.4	3.4	17.4	18.0	11.0	6.1	1.0
35 28.1	37.8	51.4	60.5	55.1	13.0	4.7	1.8	.4	.0	.8	5.8	23.1	33.6	25.2	24.5	12.5	3.1
30 36.1	50.0	66.1	72.0	66.1	40.5	16.2	3.1	.4	.1	.8	10.1	28.1	40.5	31.2	31.2	18.0	4.2
25 50.0	65.0	81.9	95.2	81.9	52.0	24.5	6.1	.4	.1	.8	16.2	28.1	40.5	31.2	31.2	18.0	4.2
20 72.0	91.1	112.5	128.0	111.0	67.3	37.8	10.1	1.1	.4	.8	25.2	39.6	53.0	45.1	45.1	25.9	7.6
175 80.6	103.7	124.6	149.4	126.4	74.1	44.2	16.2	2.0	1.6	8.8	25.2	39.6	53.0	45.1	45.1	25.9	7.6
15 94.4	123.2	156.6	174.8	149.4	87.1	50.0	20.5	5.1	2.9	10.6	29.6	44.2	59.4	48.4	48.4	28.9	10.1
125 128.1	153.1	196.0	206.0	153.1	98.0	50.0	20.5	5.1	2.9	10.6	29.6	44.2	59.4	48.4	48.4	28.9	10.1
10 136.1	196.0	226.4	214.2	156.6	98.0	50.0	20.5	5.1	2.9	10.6	29.6	44.2	59.4	48.4	48.4	28.9	10.1

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

JUNI

ϕ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.1	.3	1.0	2.6	3.6	2.0	.7	.0	.4	.7	.6	.5	.1	.0	.8	1.0	.6	.2
900	2.6	1.3	1.1	1.6	1.6	1.6	.0	1.1	2.6	3.6	3.1	2.2	1.0	.1	.0	.2	.1	.0
800	3.6	2.4	2.4	3.1	2.6	.0	1.0	4.8	7.6	7.6	7.2	4.8	3.1	.8	.2	.0	.1	.0
700	4.8	6.5	6.0	5.8	1.1	.8	5.1	12.5	16.8	14.6	12.0	9.7	5.1	.6	.8	.4	.1	.0
600	8.0	9.2	4.2	5.4	.0	3.4	13.5	25.2	33.6	23.8	19.2	14.6	8.8	5.1	2.4	1.0	.5	.2
500	10.1	11.0	10.1	3.6	.5	9.7	26.6	44.2	57.2	39.6	28.9	21.8	13.0	8.4	5.4	2.0	1.1	.6
400	14.0	14.0	9.7	2.2	2.9	19.8	48.0	74.4	95.2	67.3	52.0	37.0	19.2	13.0	9.7	3.4	2.2	.6
350	17.4	16.2	10.1	1.8	3.9	28.1	95.2	123.2	127.7	87.1	63.8	44.2	21.8	16.8	13.0	4.8	2.2	1.0
300	22.4	20.5	11.0	1.4	6.1	33.6	123.2	178.6	160.2	123.2	87.1	53.0	26.6	18.0	13.0	7.2	2.9	1.4
280	23.8	23.8	11.5	1.4	6.5	36.1	131.2	178.6	178.6	139.4	72.0	53.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
260	25.4	27.4	12.5	1.4	6.8	40.5	142.8	214.2	214.2	159.1	81.9	57.2	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
240	28.9	32.0	14.6	1.6	7.2	42.3	156.6	259.4	259.4	171.1	84.5	57.2	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
220	29.6	33.6	18.0	1.6	6.8	42.3	156.6	264.5	264.5	188.2	89.9	56.2	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
200	28.1	35.3	21.1	1.6	6.5	42.3	158.4	264.5	264.5	188.2	89.9	56.2	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
180	26.6	34.4	24.5	2.2	6.1	41.4	158.4	259.4	259.4	188.2	87.1	40.5	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
170	23.8	32.0	27.4	2.6	5.1	38.7	142.8	257.6	257.6	188.2	80.6	38.7	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
160	23.1	31.2	29.6	3.4	3.9	36.1	137.8	237.6	237.6	153.1	76.4	32.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
150	21.8	24.6	32.8	4.0	3.1	32.0	124.8	204.0	204.0	126.4	66.1	28.9	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
140	20.5	26.1	34.4	11.5	2.2	28.1	112.5	194.8	194.8	115.5	60.5	24.6	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
130	18.4	25.2	34.4	11.5	1.3	24.6	95.2	179.4	179.4	98.0	54.1	21.1	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
120	16.2	23.1	34.4	21.1	.2	16.8	79.4	156.6	156.6	80.6	46.1	16.2	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
110	15.1	22.4	32.0	28.1	2.4	10.8	65.0	142.8	142.8	66.1	37.0	13.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
100	12.5	20.5	31.2	39.6	4.5	3.9	42.3	123.2	123.2	50.0	28.1	8.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
90	11.5	19.2	31.2	45.1	27.4	2.6	3.9	24.6	38.7	33.6	19.2	3.6	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
80	11.5	19.2	31.2	45.1	27.4	2.6	3.9	24.6	38.7	33.6	19.2	3.6	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
70	10.1	18.0	30.7	52.0	42.3	12.5	3.9	5.8	18.0	18.0	10.1	1.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
60	11.0	20.5	30.7	52.0	42.3	12.5	3.9	5.8	18.0	18.0	10.1	1.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
50	11.0	20.5	30.7	52.0	42.3	12.5	3.9	5.8	18.0	18.0	10.1	1.0	28.9	17.4	15.7	7.2	3.6	1.8
40	22.4	40.5	61.4	80.6	78.1	54.1	18.6	5.1	1.6	.0	1.6	4.5	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
35	28.9	41.0	76.4	80.6	78.1	54.1	18.6	5.1	1.6	.0	1.6	4.5	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
30	38.7	62.7	91.1	103.7	72.0	72.0	32.8	11.5	2.6	3.1	4.5	13.0	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
25	53.0	78.1	117.0	153.1	83.2	83.2	46.1	19.2	8.4	1.8	10.6	20.5	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
20	72.0	112.5	162.0	208.1	190.1	115.5	46.1	32.0	18.0	6.5	15.7	32.0	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
175	84.5	132.8	194.0	244.2	216.3	144.5	46.1	44.2	25.2	19.8	25.4	37.0	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
15	106.4	156.6	224.0	288.0	250.4	171.1	46.1	44.2	33.6	28.4	32.0	43.2	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2
125	144.4	244.4	332.4	344.4	290.2	212.2	46.1	44.2	48.0	37.8	40.5	54.1	21.8	30.7	29.6	18.6	4.2	2.2

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

JULI

$\phi_n +$ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.4			2.2	3.4	2.2	1.0	.1	.1	1.0	1.4	1.6	2.5	.1	1.1	5	.2	.1
900	2.4	.5	.2	1.1	2.2	2.2	.2	.3	1.4	3.6	4.5	3.9	3.9	.1	.1	.0	.0	.0
800	3.1	.8	.4	1.0	1.4	1.6	.0	2.2	5.1	8.4	8.4	7.2	3.9	.8	.1	.1	.1	.0
700	2.4	2.2	3.4	3.1	2.4	1.0	.6	5.8	13.5	14.6	13.5	11.5	6.8	2.0	.8	.5	.5	.2
600	5.1	5.8	6.8	5.8	3.6	.6	2.4	11.0	22.4	26.6	19.2	16.8	10.6	3.4	.8	1.4	1.1	.6
500	8.8	10.1	10.1	8.4	5.1	.2	4.8	18.6	37.8	46.1	30.4	23.8	16.2	5.8	3.6	3.6	2.2	1.0
400	15.7	15.7	17.4	11.0	5.1	.0	8.8	31.2	60.5	81.9	55.1	34.4	22.4	9.7	6.8	4.1	3.6	1.6
350	20.5	20.5	22.4	12.5	5.4	.1	11.5	38.7	76.4	108.0	78.2	50.5	26.6	12.5	8.4	4.7	3.6	2.2
300	26.6	25.9	25.9	15.1	5.4	.2	13.0	47.0	98.0	160.2	81.9	53.0	33.6	16.8	10.6	4.7	4.8	2.9
280	30.4	30.4	25.2	16.8	5.8	.2	14.0	50.0	103.7	178.6	92.5	59.4	36.1	16.8	11.0	4.7	5.8	2.9
260	34.4	35.3	24.9	18.0	6.1	.2	14.6	52.0	105.1	186.6	92.5	59.4	36.1	16.8	11.0	4.7	5.8	2.9
240	38.7	41.4	35.3	21.8	7.2	.2	15.1	53.0	106.6	186.6	105.1	61.6	39.6	17.4	9.2	4.7	5.1	3.1
220	41.4	47.0	40.5	25.9	7.6	.2	15.1	53.0	108.0	235.4	128.0	67.3	39.6	12.5	5.8	4.5	4.2	2.6
200	44.2	53.0	47.0	32.0	9.2	.2	15.1	53.0	108.0	235.4	128.0	67.3	39.6	12.5	5.8	4.5	4.2	2.6
190	42.3	55.1	51.0	34.4	9.7	.2	14.0	53.0	105.1	231.1	124.8	63.8	32.0	10.1	2.4	2.4	3.1	2.4
180	40.5	57.2	55.1	37.8	10.6	.1	13.5	50.0	103.7	224.7	120.1	60.5	24.6	8.4	2.4	2.4	2.6	2.0
170	39.4	59.4	59.4	40.5	11.5	.0	12.5	44.2	81.9	180.5	106.6	53.0	27.4	7.2	1.4	1.3	1.6	1.8
160	37.0	60.5	65.0	44.2	13.0	.0	12.5	44.2	81.9	180.5	106.6	53.0	27.4	7.2	1.4	1.3	1.6	1.8
150	35.3	59.4	72.0	49.0	15.7	.1	10.6	37.0	73.2	147.9	81.9	44.2	22.4	4.2	.2	.2	1.3	1.6
140	32.8	57.2	75.6	55.1	19.2	.7	6.1	29.6	62.7	112.5	72.0	37.8	19.2	3.4	.0	.2	.8	.8
130	30.4	54.1	80.6	62.7	24.5	2.0	3.1	22.4	50.0	92.5	72.0	31.2	15.7	2.4	.0	.2	.8	.8
120	27.4	51.0	84.4	72.0	32.0	8.0	1.0	14.6	26.6	64.6	54.4	25.2	12.5	1.8	.3	.2	.8	.8
110	23.1	47.0	78.1	79.4	41.4	14.0	.0	7.2	13.5	47.0	44.2	21.1	4.7	.6	.0	.2	.8	.8
100	19.8	40.5	72.0	84.4	50.0	24.5	1.4	2.2	5.1	28.1	28.1	12.5	2.4	.0	.0	.2	.8	.8
90	16.2	34.4	68.4	87.1	60.5	40.5	4.8	.0	.5	15.7	18.0	7.6	2.4	.0	.0	.2	.8	.8
80	13.0	31.2	63.8	89.8	74.4	57.2	1.0	2.2	1.3	10.6	8.8	2.4	2.4	.0	.0	.2	.8	.8
70	11.5	28.4	60.5	92.5	87.1	72.0	.6	1.0	.8	6.1	1.1	.0	1.1	.0	.0	.2	.8	.8
60	11.5	24.6	65.0	96.6	100.8	95.2	4.4	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
50	12.5	37.8	74.4	104.5	120.1	124.8	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
40	23.8	54.1	95.2	134.5	156.6	124.8	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
30	30.4	66.1	111.0	153.8	164.3	147.9	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
25	42.3	84.4	124.8	174.0	199.0	169.3	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
20	72.0	148.0	196.0	264.5	264.5	224.7	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
175	78.1	144.6	242.0	312.5	312.5	250.9	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
15	98.0	182.4	283.0	378.1	364.5	280.8	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
125	120.1	233.3	353.8	404.0	404.0	312.5	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8
10	151.4	300.1	420.5	446.1	432.2	334.0	6.1	1.0	1.3	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.2	.8	.8

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2
für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der
Nordhemisphäre

AUGUST

$\phi_N \rightarrow$ mb \downarrow	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.6	.2	.2	1.1	2.4	2.2	1.1	.2	.0	.5	2.4	2.2	.3	.1	.8	.7	.6	.2
900	2.6	.2	.0	.6	2.0	2.4	.3	.0	.6	3.4	6.1	5.1	1.6	.3	.0	.1	.1	.0
800	3.4	.4	.6	1.8	2.4	2.0	.0	1.8	4.5	7.6	11.0	9.7	3.9	1.8	.3	.0	.0	.0
700	3.6	1.8	3.6	4.2	3.1	.7	.7	4.8	9.2	15.7	17.4	15.7	8.0	3.9	1.1	.4	.1	.1
600	5.8	4.8	7.2	6.8	3.4	.0	2.9	11.5	24.5	27.4	28.1	23.8	13.5	6.8	3.4	1.3	.7	.3
500	11.0	10.6	11.0	8.8	2.9	.2	5.8	20.5	41.4	48.0	43.2	32.0	19.2	12.5	6.5	2.4	1.4	.8
400	21.1	18.0	13.5	8.4	2.0	1.0	11.5	32.0	72.0	78.1	66.1	47.0	28.9	19.2	11.5	4.5	3.1	1.6
350	23.1	24.5	18.0	9.7	2.0	1.6	14.0	40.5	88.4	103.7	78.1	57.2	33.6	22.4	16.2	8.0	4.2	2.0
300	31.2	34.4	25.9	12.5	2.0	2.4	16.8	50.0	112.5	131.2	96.6	69.6	42.3	26.6	20.5	9.7	5.1	2.4
280	35.3	37.8	29.6	14.6	2.0	2.4	18.0	52.0	117.0	162.0	105.1	75.6	44.2	29.6	19.2	4.2	5.1	2.4
260	38.7	43.2	33.6	16.8	2.0	2.4	18.0	54.1	126.4	171.1	115.5	81.9	50.0	26.6	15.7	8.8	4.5	2.4
240	42.3	48.0	38.7	20.5	2.2	2.6	18.6	55.1	134.5	200.0	131.2	89.8	51.0	24.5	11.5	6.8	3.6	2.2
220	46.1	54.1	46.1	23.8	2.2	2.6	18.6	56.2	139.4	237.6	147.9	91.1	46.1	16.8	8.0	4.2	2.9	2.0
200	48.0	63.8	54.1	24.6	2.2	2.9	18.0	56.2	134.5	253.1	149.6	85.8	40.5	12.0	4.5	2.4	2.4	1.6
190	48.0	67.3	59.4	29.6	2.4	.0	18.0	55.1	132.8	248.6	149.6	81.9	37.8	11.5	3.6	2.4	2.0	1.6
180	47.0	72.0	65.0	30.4	3.1	2.6	18.0	54.1	126.4	237.6	144.5	80.6	33.6	10.1	5.8	2.0	1.8	1.1
170	46.1	73.2	68.4	32.0	3.6	2.4	16.8	52.0	115.5	210.1	137.8	78.1	30.4	9.2	2.6	1.6	1.6	1.1
160	42.3	72.0	60.5	36.1	4.5	2.0	16.8	50.0	100.8	180.5	126.4	73.2	29.6	8.8	2.4	1.1	1.3	1.1
150	39.6	64.6	74.4	40.5	7.2	1.4	13.5	42.3	83.2	153.1	117.0	68.4	27.4	8.0	2.0	.7	1.0	.8
140	36.1	65.0	78.1	47.0	8.8	.5	10.6	33.6	73.2	117.0	103.7	61.6	25.2	7.2	1.6	.5	.7	.7
130	30.4	59.4	74.4	52.0	12.5	.0	7.6	28.1	58.3	45.2	89.8	54.1	21.8	6.5	1.4	.3	.4	.5
120	26.6	52.0	74.4	60.5	18.0	.5	4.5	22.4	46.1	73.2	75.6	48.0	18.0	5.1	.8	.2	.2	.2
110	23.1	47.0	75.6	72.0	28.1	2.4	2.4	15.7	31.2	56.2	57.2	39.6	15.1	4.2	.5	.1	.1	.1
100	20.5	40.5	72.0	78.1	40.5	7.2	.4	8.0	24.5	38.7	41.4	24.6	12.5	3.1	.3	.0	.0	.1
90	16.8	35.3	63.8	79.4	50.0	15.1	.5	3.1	13.5	26.6	29.6	24.5	4.7	2.0	.0	.0	.0	.0
80	12.5	30.4	56.3	79.4	60.5	24.5	4.5	.2	5.8	14.0	14.2	13.5	6.5	.8	.0	.2	.2	.0
70	11.5	27.4	54.1	74.4	72.0	37.8	12.5	1.4	.8	6.5	9.7	8.8	3.1	.1	.3	.7	.5	.1
60	10.6	25.4	52.0	78.1	74.4	53.0	24.5	7.2	.3	2.0	4.2	3.6	1.3	.1	1.0	1.6	1.0	.2
50	11.0	24.6	56.2	83.2	87.1	69.6	40.5	18.0	4.5	.0	1.3	1.4	.1	.1	2.6	2.9	1.4	.6
40	20.5	43.2	75.6	102.2	112.5	84.8	65.0	32.0	12.5	3.1	.0	.2	.3	3.6	6.1	5.8	2.6	.7
35	26.6	53.0	84.5	118.6	131.2	104.5	76.9	42.3	19.8	5.1	.5	.0	.8	4.5	8.8	4.0	3.4	.8
30	33.6	64.6	100.8	136.1	153.1	123.2	87.1	54.1	26.6	9.2	1.8	.3	2.0	8.0	12.5	10.6	5.1	1.3
25	50.0	81.4	128.0	167.4	180.5	147.9	106.6	64.6	33.6	13.0	3.1	1.3	3.1	10.6	15.7	13.5	6.8	2.0
20	64.6	108.0	162.0	210.1	208.1	171.1	120.1	78.1	41.4	18.0	4.8	3.4	5.1	14.6	19.2	16.2	8.8	2.4
175	78.1	123.2	182.1	233.3	226.8	178.6	126.4	81.9	47.0	21.1	6.8	3.6	7.2	15.1	14.8	16.8	9.2	2.4
15	45.2	144.5	208.1	257.6	246.4	184.3	131.2	84.5	48.0	23.1	8.4	4.8	8.8	16.8	22.4	17.4	4.7	3.1
12.5	112.5	174.8	253.1	242.8	259.4	194.0	139.4	85.8	50.0	24.5	10.6	7.2	11.5	14.2	25.2	18.0	10.6	3.1
10	136.1	231.1	300.1	322.6	276.1	210.1	144.5	84.8	50.0	24.5	12.5	8.8	12.5	22.4	28.1	14.2	11.0	3.1

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2 für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der Nordhemisphäre

SEPTEMBER

$0^\circ N \rightarrow$ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.6	.3	.4	1.6	3.9	2.4	2.2	1.1	1.0	2.0	3.9	1.6	.0	.0	.7	.4	.2	
900	2.4	.5	.4	1.6	6.5	3.1	.4	.2	3.6	6.5	8.4	5.1	1.1	.0	.7	.0	.0	
800	3.4	1.6	1.6	3.4	5.8	1.0	.3	2.9	4.7	12.5	12.5	4.7	3.1	.7	.2	.1	.1	
700	4.2	3.1	4.8	6.1	4.5	.7	2.9	8.0	13.5	14.8	22.4	15.1	6.8	2.0	.7	.2	.7	
600	8.0	6.5	8.4	8.8	.5	.0	16.2	19.8	30.4	34.4	37.0	24.5	12.0	5.1	1.3	1.6	.2	
500	14.6	12.5	13.0	8.4	.0	3.1	29.6	37.8	59.4	54.1	52.0	37.0	20.5	8.8	4.1	3.1	1.4	
400	20.5	18.6	15.1	6.5	.0	7.2	38.7	72.0	93.8	85.8	78.1	56.2	33.6	16.8	9.7	6.1	2.9	
350	23.1	22.4	16.8	5.8	.0	11.0	38.7	87.1	136.1	105.1	98.0	68.4	45.1	21.8	12.0	7.2	2.9	
300	27.4	27.4	18.0	5.8	.1	12.5	48.0	106.6	182.4	153.1	132.8	83.2	54.1	25.9	15.1	9.2	3.6	
280	32.0	30.4	14.8	5.8	.2	13.5	51.0	112.5	200.0	173.0	126.4	87.1	55.1	25.9	14.5	12.5	3.6	
260	35.3	35.3	21.1	5.8	.3	15.1	54.2	121.2	224.7	188.2	151.4	131.2	87.1	37.0	19.2	12.5	3.6	
240	38.7	39.6	23.8	6.1	.4	15.1	57.2	123.2	271.4	206.0	165.6	128.0	78.1	37.8	14.5	11.0	3.6	
220	37.8	42.3	25.9	6.5	.5	15.7	57.2	123.2	271.4	235.4	176.7	128.0	78.1	28.9	15.7	11.0	3.6	
200	35.3	45.1	24.6	6.8	.4	16.8	58.3	126.4	300.1	246.4	174.8	118.6	56.2	24.5	12.5	8.4	3.6	
190	30.4	45.1	30.4	7.6	.3	16.2	58.3	126.4	307.5	246.4	171.1	115.5	51.0	22.4	12.0	6.1	3.6	
180	28.4	42.3	32.0	8.0	.2	15.7	58.3	126.4	273.8	244.2	163.8	114.0	50.0	20.5	11.5	5.1	3.4	
170	25.9	38.7	32.0	9.7	.2	14.6	58.3	123.2	253.1	244.2	158.4	109.5	49.0	19.2	10.6	4.8	3.1	
160	23.1	35.3	33.6	11.5	.1	13.5	58.3	114.0	226.8	233.2	154.4	109.5	48.0	18.6	10.1	4.2	2.4	
150	21.8	32.0	34.4	12.5	.0	11.5	52.0	109.5	194.0	214.2	151.4	106.6	48.0	18.0	9.7	3.4	2.4	
140	19.8	29.6	35.3	14.6	.0	8.0	46.1	98.0	162.0	194.0	147.9	98.0	46.1	17.4	8.8	3.6	2.4	
130	18.0	27.4	35.3	18.0	.5	4.5	34.6	85.8	146.2	173.0	137.8	91.1	44.2	17.4	8.4	3.6	2.4	
120	15.7	25.2	35.3	20.5	.6	3.4	24.6	74.4	121.7	147.9	123.2	81.9	40.5	16.2	8.0	3.4	2.0	
110	13.0	21.1	33.6	24.9	1.6	2.0	23.1	60.5	100.8	123.2	105.1	60.5	35.3	14.6	7.6	3.4	1.6	
100	10.6	18.6	33.6	33.6	3.1	.3	12.5	44.2	78.1	98.0	87.1	47.0	30.4	12.5	7.2	3.4	1.4	
90	9.7	18.6	33.6	33.6	3.5	.4	5.8	28.1	54.1	72.0	70.8	47.0	26.6	11.0	6.8	3.4	1.0	
80	8.0	16.8	32.8	37.8	20.5	3.1	1.8	14.0	32.8	47.0	47.0	35.3	22.4	8.8	5.8	2.4	.8	
70	5.8	16.2	33.6	43.2	30.4	8.0	.2	4.2	18.6	28.9	28.9	30.4	18.0	5.8	3.9	2.4	.8	
60	5.8	14.8	34.4	50.1	41.4	20.5	4.5	.0	18.0	23.8	22.4	14.0	7.6	5.4	3.6	2.2	.8	
50	6.5	14.8	34.4	54.1	55.1	33.6	15.1	2.6	6.5	14.0	18.6	14.0	7.6	5.4	3.6	2.2	.8	
40	16.2	28.1	46.1	62.7	55.1	50.0	25.9	8.0	3.6	8.4	14.0	14.0	7.6	5.4	3.6	2.2	.8	
35	23.1	35.3	55.1	72.0	72.0	55.1	24.6	11.0	1.4	7.2	14.0	14.0	7.6	5.4	3.6	2.2	.8	
30	32.0	48.0	67.3	84.5	84.5	60.5	33.6	12.5	.5	6.5	15.1	14.0	8.8	5.8	3.9	2.4	.8	
25	48.0	62.7	81.4	94.9	96.6	70.8	37.0	13.5	.5	8.0	18.0	18.0	11.5	6.8	4.2	2.4	.8	
20	66.1	84.5	112.5	128.1	115.5	78.1	34.7	15.1	.8	9.7	22.4	22.4	16.8	8.8	5.8	3.4	.8	
175	78.1	94.9	128.1	148.1	128.1	78.1	34.6	14.6	1.3	12.5	25.9	25.9	19.2	11.0	6.8	3.4	.8	
15	93.8	144.4	157.4	165.6	120.2	78.1	34.6	14.0	2.0	15.1	35.3	35.3	23.8	12.0	8.8	3.4	.8	
125	12.5	144.4	157.4	165.6	120.2	78.1	34.6	14.0	2.0	15.1	35.3	35.3	23.8	12.0	8.8	3.4	.8	
10	35.1	165.6	184.3	171.1	124.4	76.4	34.6	12.5	1.0	19.2	36.1	41.4	32.8	18.0	11.0	5.4	.8	

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie k_z in der Einheit m^2/s^2
für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der
Nordhemisphäre

OKTOBER

ϕ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	1.1	1.7	1.4	2.4	2.4	2.4	2.0	1.2	1.6	2.4	4.5	4.8	2.2	0	1	6	1.1	6
900	2.4	1.6	3.1	5.4	3.9	1.3	0	1.4	5.8	8.8	12.0	11.0	6.5	1.3	4	0	1	1
800	3.6	3.6	5.4	7.2	2.2	0	2.6	5.8	18.0	18.6	21.8	18.6	11.5	4.2	2.4	5	0	1
700	6.1	7.6	10.1	6.8	0.3	3.1	14.0	18.0	32.0	35.3	32.8	24.6	14.2	8.4	5.4	1.8	5	1
600	8.4	4.2	10.6	4.2	5	12.5	35.3	47.0	57.2	54.1	52.0	46.1	43.2	14.6	9.2	3.9	1.4	2
500	8.4	9.2	8.8	1.6	3.1	25.2	63.8	81.9	93.8	87.1	79.4	68.4	43.2	23.1	15.7	7.2	2.4	7
400	8.4	9.2	7.2	0	9.7	45.1	112.5	153.1	137.8	128.0	112.5	95.2	65.0	34.1	23.1	12.0	4.5	1.1
350	8.0	9.7	6.5	0	12.5	57.2	136.1	206.0	174.8	156.6	129.6	112.5	81.9	41.4	28.1	14.0	5.4	1.6
300	7.6	10.1	6.5	0	15.7	66.1	154.9	254.9	229.0	188.2	156.6	131.2	98.0	49.0	32.0	16.2	6.5	2.2
280	8.0	11.0	6.5	0	15.7	69.6	160.2	253.1	229.0	198.0	167.7	136.1	99.4	50.0	31.2	16.2	6.5	2.2
260	9.7	12.0	7.2	0	16.8	73.2	167.4	325.1	283.2	220.5	176.7	146.8	89.8	49.0	31.2	17.4	6.8	2.2
240	11.0	13.5	7.6	0	18.0	74.4	171.1	378.1	312.5	233.3	186.2	131.2	78.1	46.1	30.4	16.2	6.8	2.2
220	12.5	15.7	8.0	0	18.6	74.4	174.8	344.8	354.1	242.0	180.5	120.1	67.3	43.2	30.4	16.2	6.8	2.0
200	13.0	17.4	8.0	0	18.6	74.4	174.8	344.8	354.1	242.0	180.5	120.1	67.3	43.2	30.4	16.2	6.8	2.0
190	13.5	18.0	8.0	0	18.6	78.1	176.7	400.4	367.2	237.6	174.8	108.0	58.3	41.4	24.6	16.2	6.8	2.0
180	13.5	18.6	8.0	0	18.0	76.9	176.7	392.0	367.2	233.3	167.4	98.0	54.1	40.5	24.6	16.2	6.8	2.2
170	12.5	18.6	8.4	0	18.0	76.9	176.7	383.6	367.2	224.7	162.0	95.2	51.0	39.6	24.6	15.7	6.8	2.2
160	11.5	18.6	8.4	0	17.4	79.4	176.7	364.5	361.8	218.4	156.6	92.5	50.0	38.7	24.6	15.7	6.8	2.2
150	11.0	17.4	8.8	0	14.0	67.3	156.6	312.5	332.8	210.1	149.6	84.5	49.0	38.7	24.6	15.7	6.8	2.0
140	10.1	16.2	8.8	0	11.5	57.2	146.2	246.4	305.0	200.0	142.8	80.6	49.0	38.7	24.6	15.7	6.8	2.0
130	8.8	14.6	9.2	0	8.4	50.0	128.0	210.1	237.6	176.7	118.6	75.6	48.0	38.7	24.6	15.7	6.8	2.0
120	8.0	13.5	9.2	0	5.4	46.1	104.5	182.4	204.3	156.6	109.5	72.0	48.0	38.7	24.6	15.7	6.5	2.0
110	7.2	11.5	9.2	0	3.6	42.7	78.1	144.6	164.3	141.1	98.0	68.4	48.0	38.7	24.6	15.7	6.5	2.0
100	6.1	10.1	11.0	0	2.0	18.0	54.4	115.5	141.1	115.5	85.8	63.8	48.0	38.7	24.6	15.7	6.5	2.0
90	5.4	9.7	14.0	0	0	8.4	35.3	78.1	102.2	100.8	75.6	60.5	48.0	39.6	24.6	15.7	6.5	2.0
80	4.2	8.4	16.2	0	2.0	2.0	18.0	44.2	72.0	75.6	55.1	57.2	48.0	41.4	24.6	16.2	6.5	2.0
70	3.9	8.0	16.8	0	7.6	0	0	23.8	42.3	53.0	46.1	48.0	48.0	42.3	31.2	17.4	6.8	2.0
60	4.2	8.4	16.8	0	25.4	4.5	0	6.1	24.5	37.8	46.1	48.0	48.0	45.1	34.4	19.2	6.8	2.0
50	5.4	12.5	22.0	0	29.6	15.7	3.1	0	6.5	28.1	42.3	45.1	50.0	55.1	38.7	23.8	6.8	2.0
40	14.0	21.8	31.2	0	37.0	24.5	6.5	0	3.9	14.2	35.3	48.0	63.8	72.0	50.0	30.4	13.5	3.6
35	21.1	28.4	36.1	0	37.0	25.9	6.8	0	3.9	16.6	36.1	55.1	72.0	84.5	62.7	42.3	15.2	5.4
30	24.6	36.1	42.3	0	37.8	23.1	5.1	0	4.5	21.8	40.5	66.1	84.5	80.6	73.2	52.0	20.5	5.4
25	41.4	50.0	58.3	0	45.1	25.2	5.1	0	6.5	25.9	48.0	78.1	91.1	92.5	73.2	52.0	25.2	5.4
20	58.3	73.2	74.4	0	46.1	20.5	3.1	0	9.2	30.4	59.4	91.1	112.5	111.0	91.1	65.0	37.0	9.2
15	87.1	94.6	94.4	0	43.2	18.6	2.4	0	11.0	36.1	72.0	114.0	124.8	123.2	102.2	74.4	45.1	12.0
12.5	103.7	112.5	108.0	0	41.4	16.2	1.6	0	14.6	42.3	80.6	114.0	141.1	142.8	117.0	84.5	45.1	15.2
10	118.6	123.2	117.5	0	36.7	12.5	0	3.1	24.5	63.8	112.5	156.6	190.1	196.0	164.3	120.1	45.1	18.6

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2
für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der
Nordhemisphäre

NOVEMBER

$\phi_N \rightarrow$ mb	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
1000	.7	1.4	3.4	6.5	5.8	3.1	2.4	.0	1.1	4.2	4.5	3.1	.8	.0	.5	.7	1.1	.7
900	1.4	4.5	10.1	13.0	8.0	.7	1.4	4.2	7.6	13.0	13.5	4.7	3.4	.6	.0	.0	.1	.3
800	2.4	8.4	15.1	11.5	2.2	3.1	14.6	17.4	21.1	25.2	22.4	16.2	8.0	2.6	.7	.2	.0	.1
700	6.8	13.0	15.1	7.2	.1	16.8	35.3	40.5	43.2	43.2	37.0	25.2	13.5	5.4	2.4	1.0	.4	.0
600	8.0	14.0	13.0	2.2	4.5	40.5	74.4	76.4	74.4	67.3	55.1	40.5	21.8	10.1	5.1	2.4	.8	.1
500	8.4	12.5	8.8	.0	20.5	78.1	144.5	132.8	121.7	103.7	85.8	60.5	32.8	16.2	8.8	4.8	2.4	.3
400	7.6	9.7	5.4	2.2	44.2	124.8	237.6	218.4	188.2	158.4	123.2	41.1	51.0	23.1	14.0	8.4	3.4	.8
350	5.8	8.4	3.4	4.5	56.2	156.6	245.2	271.4	229.0	192.1	147.9	111.0	67.3	29.6	16.8	9.2	4.8	1.0
300	5.1	5.4	2.0	4.2	70.8	194.0	364.5	367.2	276.1	231.1	174.8	132.8	74.4	33.6	14.8	12.0	5.4	1.4
280	5.4	5.4	2.0	10.1	73.2	208.1	426.3	411.8	247.7	244.2	188.2	132.8	74.4	36.1	20.5	12.5	6.5	1.6
260	5.8	5.8	1.0	12.5	76.4	220.5	450.0	462.1	320.0	266.8	194.0	118.6	72.0	37.0	23.1	13.0	6.8	1.8
240	5.8	6.1	.7	13.5	78.1	229.0	446.1	524.9	340.6	283.2	180.5	106.6	65.0	37.0	23.8	14.0	7.2	2.0
220	5.8	6.5	.5	14.0	80.6	235.4	512.0	578.0	364.5	273.8	169.3	96.6	58.3	37.0	24.5	15.1	8.0	2.0
200	6.8	6.8	.5	14.6	83.2	248.6	512.0	578.0	364.9	266.8	165.6	89.8	55.1	36.1	25.2	15.7	8.0	2.2
190	6.5	6.8	.5	15.1	84.5	248.6	512.0	578.0	367.2	264.5	163.8	87.1	53.0	36.1	25.4	16.2	8.0	2.2
180	6.5	6.8	.5	15.7	84.5	248.6	486.7	561.1	361.8	259.4	162.0	84.5	53.0	35.3	25.4	16.2	8.0	2.4
170	6.1	6.5	.5	15.7	84.5	248.6	450.0	534.6	353.8	255.4	160.2	84.5	52.0	37.0	26.6	16.2	8.4	2.4
160	6.1	6.5	.5	14.6	80.6	244.2	426.3	443.0	348.5	248.6	158.4	83.2	53.0	37.8	27.4	18.0	8.8	2.4
150	5.8	6.5	.7	13.5	78.1	224.7	342.0	441.0	332.8	244.2	153.1	81.9	53.0	38.7	28.1	18.0	8.8	2.4
140	5.4	6.5	.8	11.0	72.0	200.0	364.5	342.0	312.5	233.3	147.9	81.9	54.1	39.6	28.1	18.6	8.8	3.1
130	5.4	6.1	1.6	9.7	59.4	176.7	327.7	364.5	288.0	218.4	144.5	81.9	56.2	41.4	24.6	18.6	9.2	3.1
120	5.1	5.8	2.2	7.2	50.0	153.1	283.2	322.6	264.5	202.0	131.2	84.5	58.3	42.3	28.4	14.2	9.2	3.1
110	4.8	5.4	3.1	4.2	42.3	121.7	242.0	273.8	242.0	186.2	121.7	85.8	60.5	45.1	31.2	14.8	4.7	3.1
100	4.5	5.1	3.4	2.2	30.4	41.1	140.1	231.1	208.1	162.0	111.0	88.4	65.0	48.0	32.8	20.5	10.1	3.6
90	4.2	5.4	4.8	.1	23.1	72.0	144.5	180.5	173.0	144.5	108.0	88.4	67.3	51.0	35.3	22.4	11.0	3.6
80	3.6	5.4	5.8	1.1	8.0	34.6	84.5	131.2	141.1	115.5	100.8	89.8	72.0	54.1	37.0	23.8	12.5	3.6
70	3.4	5.8	7.6	4.5	.3	13.5	46.1	84.5	100.8	100.8	96.6	41.1	78.1	60.5	44.2	28.1	13.5	3.4
60	3.6	6.1	4.7	8.8	3.1	1.3	12.5	34.4	83.2	79.4	87.1	89.8	83.2	66.1	46.1	31.2	14.8	5.4
50	4.5	8.0	12.5	14.6	8.8	2.0	.4	6.1	23.1	45.1	74.4	89.8	87.1	74.4	56.2	38.7	20.5	6.5
40	12.5	16.2	18.0	18.0	13.5	4.2	.1	2.4	12.5	24.6	58.3	87.1	96.6	87.1	66.1	47.0	25.2	8.8
35	14.2	22.4	23.1	20.5	14.6	4.8	.1	2.9	13.5	31.2	61.6	91.1	105.1	98.0	76.4	53.0	30.4	10.1
30	28.1	30.4	28.4	22.4	15.7	5.1	.0	3.4	15.7	38.7	72.0	103.7	121.7	114.0	87.1	61.6	35.3	11.5
25	42.3	43.2	40.5	28.1	16.2	5.1	.0	4.5	21.1	50.0	89.8	124.6	153.1	146.2	112.5	74.4	42.3	14.0
20	60.5	60.5	52.0	35.3	16.8	5.1	.0	6.8	28.1	66.1	112.5	160.2	140.1	176.7	134.4	93.8	52.0	16.8
175	72.0	72.0	54.4	38.7	18.0	3.4	.3	10.6	34.4	76.4	131.2	186.2	220.5	206.0	153.1	102.2	58.3	18.6
15	87.1	83.2	69.6	41.4	18.0	3.1	1.1	13.5	44.2	84.5	144.6	208.1	262.2	244.2	174.8	112.5	62.7	20.5
12.5	106.6	45.2	75.6	43.2	18.0	2.0	2.4	14.2	53.0	100.8	158.4	246.4	317.5	242.8	206.0	131.2	72.0	24.5
10	115.5	30.7	81.5	47.0	16.2	1.0	5.1	28.1	67.3	118.6	192.1	288.0	343.2	330.2	253.1	154.4	88.4	24.5

Tabelle 5 : Werte der zonalen kinetischen Energie K_z in der Einheit m^2/s^2
für 38 Druck-Niveaus von 1000 bis 10 mb und für 5° abständige Breiten der
Nordhemisphäre

		DEZEMBER																	
$\phi_N +$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	
mb																			
1000	.6	2.4	6.8	8.8	6.1	5.1	.4	.6	2.4	4.2	5.4	2.2	.0	.0	.4	.6	.7	.5	
900	1.6	6.8	14.0	15.1	6.1	.0	3.6	8.0	12.0	14.0	14.0	7.2	1.6	.6	.1	.0	.1	.2	
800	4.2	10.6	16.8	4.8	1.0	11.0	21.1	26.6	28.1	30.4	25.9	13.0	5.1	2.2	.8	.2	.0	.1	
700	6.1	13.0	11.0	.0	15.7	43.2	57.2	54.1	52.0	51.0	40.5	21.8	9.2	5.1	2.0	.7	.1	.0	
600	6.5	14.0	4.6	6.5	48.0	100.8	112.5	102.2	88.4	79.4	60.5	32.0	15.1	8.8	4.8	2.0	.4	.0	
500	6.8	13.0	.3	24.5	95.2	165.6	200.0	171.1	142.8	118.6	88.4	46.1	23.8	15.1	8.4	3.9	.8	.1	
400	4.5	8.4	.8	43.2	146.2	262.2	353.8	285.6	220.5	171.1	124.8	65.0	36.1	23.1	13.0	6.5	1.6	.2	
350	3.9	5.4	2.0	52.0	162.0	332.8	456.0	367.2	264.5	198.0	153.1	76.4	43.2	28.9	15.1	7.6	2.4	.3	
300	3.1	4.2	3.1	63.8	142.1	400.4	548.6	456.0	320.0	231.1	176.7	49.4	50.0	33.6	19.8	4.7	2.9	.5	
280	3.1	3.4	3.9	67.3	200.0	429.2	673.4	443.0	340.6	253.1	174.8	105.1	54.1	35.3	21.8	10.1	3.6	.5	
260	3.4	3.6	4.2	67.3	208.1	450.0	684.5	547.8	364.5	257.6	165.6	99.4	56.2	37.8	23.1	12.0	3.4	.6	
240	3.4	3.6	4.5	67.3	216.3	456.0	760.5	604.0	389.2	242.0	153.1	45.2	56.2	38.7	25.2	13.0	4.5	.7	
220	4.5	3.9	4.5	68.4	216.3	465.1	894.6	662.5	389.2	212.2	144.5	88.4	57.2	39.6	27.4	14.6	4.8	1.0	
200	5.1	3.4	4.5	67.3	218.4	468.2	915.9	648.0	378.1	198.0	128.0	81.9	57.2	40.5	29.6	16.2	5.8	1.4	
190	4.8	3.9	4.5	66.1	216.3	468.2	920.2	648.0	375.4	194.0	121.7	78.1	57.2	42.3	30.4	17.4	6.1	1.6	
180	4.5	3.9	4.5	65.0	216.3	468.2	915.9	648.0	367.2	192.1	115.5	76.9	57.2	44.2	31.2	18.0	6.8	1.6	
170	4.2	3.9	4.5	63.8	214.2	468.2	903.1	630.1	364.5	190.1	112.5	75.6	58.3	46.1	32.8	19.2	8.0	2.0	
160	4.2	3.6	3.4	61.6	206.0	426.3	800.0	612.5	353.8	184.3	104.5	75.6	60.5	48.0	35.3	21.1	8.4	2.0	
150	4.2	3.4	3.1	58.3	184.3	347.6	792.0	571.2	335.4	176.7	108.0	76.4	63.8	52.0	38.7	22.4	9.2	2.2	
140	3.9	3.4	2.0	50.0	162.0	369.9	612.5	528.1	322.6	163.8	105.1	79.4	68.4	56.2	40.5	25.9	10.1	2.4	
130	3.4	3.1	1.0	40.5	146.2	312.5	528.1	443.0	300.1	156.6	103.7	80.6	73.2	60.5	45.1	27.4	12.0	2.4	
120	3.6	2.6	.3	32.0	118.6	273.8	450.0	432.2	278.5	149.6	103.7	83.2	79.4	66.1	50.0	28.4	13.0	3.1	
110	3.4	2.4	.0	24.5	42.5	222.6	383.6	364.9	250.4	144.5	103.7	89.8	83.2	72.0	53.0	33.6	14.0	3.4	
100	3.1	2.4	.1	15.7	72.0	169.3	288.0	312.5	216.3	142.8	109.5	99.4	89.8	80.6	58.3	37.8	15.7	3.4	
90	3.4	2.9	.3	8.8	50.0	112.5	210.1	237.6	180.5	141.1	123.2	111.0	102.2	85.8	66.1	39.6	18.0	2.9	
80	4.8	4.8	1.3	2.0	24.5	65.0	136.1	167.4	147.4	141.1	134.5	128.0	115.5	100.8	73.2	46.1	14.8	4.2	
70	4.2	5.4	2.4	.1	6.8	29.6	73.2	105.1	128.0	134.5	146.2	144.5	131.2	111.0	83.2	52.0	23.1	5.4	
60	3.4	5.8	5.1	1.6	.2	7.2	25.4	52.0	78.1	112.5	147.9	162.0	151.4	128.0	43.8	60.5	28.1	6.8	
50	3.4	5.1	6.1	4.8	1.1	.1	5.8	18.0	38.7	72.0	121.7	184.3	176.7	144.6	111.0	70.8	35.3	9.2	
40	11.5	12.0	11.5	8.8	4.5	.4	1.3	8.8	26.6	50.0	112.5	188.2	210.1	182.4	134.5	87.1	46.1	13.5	
35	18.0	18.0	16.8	12.5	5.8	1.0	1.0	8.8	25.9	50.0	117.0	233.3	235.4	206.0	151.4	48.0	53.0	16.2	
30	28.1	24.5	21.1	15.7	7.6	.8	1.1	10.1	28.1	57.2	136.1	254.9	271.4	239.8	173.0	111.0	60.5	18.6	
25	40.5	37.8	28.9	18.0	6.8	.5	2.2	14.0	33.6	78.1	165.6	297.7	317.5	280.8	204.0	124.6	64.6	21.8	
20	58.3	55.1	36.1	14.2	6.5	.2	3.9	20.5	50.0	105.1	200.0	353.8	383.6	332.8	244.2	151.4	81.4	25.4	
175	68.4	60.5	42.3	21.8	6.1	.0	5.1	25.2	59.4	120.1	220.5	384.2	426.3	367.2	273.8	164.3	88.4	28.4	
15	80.6	70.8	50.0	24.5	5.8	.0	8.0	32.0	74.4	137.8	259.9	441.0	474.3	409.0	307.5	188.2	98.0	31.2	
12.5	43.8	81.4	58.3	26.6	4.5	.4	12.5	43.2	85.8	156.6	315.0	494.3	541.2	471.2	351.1	210.1	104.5	35.3	
10	12.5	41.1	60.5	28.1	3.1	2.4	21.1	60.5	106.6	180.5	344.8	588.2	633.7	544.5	409.0	242.0	124.8	34.6	

5.2. DIE JÄHRLICHE VARIATION DER MENGE VON K_z IN SINNVOLL GEWÄHLTEN BEREICHEN DER ATMOSPHERE

5.2.1. Der Jahresgang der totalen Menge von K_z

Die Abb. 13 präsentiert den Jahresgang des totalen Energieinhalts an zonaler kinetischer Energie K_z enthalten in der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel von der 1000 mb-Fläche aufwärts bis zum 10 mb-Niveau. Die gesamte Jahressumme von K_z in der Atmosphäre der Nordhalbkugel beträgt $\bar{K}_z^A = 1,66 \text{ mal } 10^{18} \text{ Kilojoule}$.

Zwischen dem winterlichen Maximum im Februar ($0.241 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) und dem sommerlichen Minimum im Juli ($0.057 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) beträgt die extreme Jahresschwankung $0.184 \cdot 10^{18} \text{ kj}$. Das sind etwa 11 % der totalen Jahresmenge von K_z . Die Monatssummen von Dezember, Januar und Februar sind nur wenig unterschiedlich und gleichfalls unterscheiden sich jene von Juni, Juli und August nur geringfügig. Man kann also mit Rechtfertigung von einer plateau-artigen Form des Jahresgangs im Winter und Sommer sprechen. Dazwischen finden relativ schroffe Übergänge im Frühling und Herbst statt, welche besonders deutlich von März bis Mai durch eine rapide Erniedrigung von K_z und von Oktober bis Dezember durch einen gegenläufigen rapiden Anstieg von K_z in Erscheinung treten.

5.2.2. Der Jahresgang von der gesamten Menge von K_z enthalten in der Troposphäre und in der unteren Stratosphäre

Separiert man die für die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel berechneten Monatsmengen von K_z in jene Anteile, welche separat in der Troposphäre oder in der unteren Stratosphäre enthalten sind, so ergeben sich entsprechende Jahresgänge von K_z , gültig für diese beiden Stockwerke der Atmosphäre. Für eine korrekte Zerlegung ist natürlich eine Kenntnis der genauen Höhenlage der Tropopause erforderlich, welche den mittleren Meridionalschnitten der Temperatur separat für alle 12 Monate des Jahres entnommen wurde (siehe dazu Kapitel 2 über die Datengrundlagen dieser Untersuchung,

Temperaturschnitte von Fr. DEFANT).

Die Abb. 14 präsentiert den Jahresgang von K_z , gültig für die gesamte Troposphäre. Er ist seiner Form und Größe nach jenem gültig für die gesamte Atmosphäre recht ähnlich. Von Monat zu Monat etwas schwankend entfallen ca. 70 bis 85 % der Mengen von K_z auf die Troposphäre und der Rest von ca. 30 bis 25 % auf die untere Stratosphäre. Der maximale Februarwert beträgt $0.204 \cdot 10^{18}$ kj verglichen mit $0.241 \cdot 10^{18}$, gültig für die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel. Die entsprechenden Minimalmengen im Juli sind $0.039 \cdot 10^{18}$ kj und $0.057 \cdot 10^{18}$ kj. Als totale Jahresmenge von K_z , enthalten in der gesamten Troposphäre, errechnet man:

$$\bar{K}_z^{\text{Trop}} = 1.38 \cdot 10^{18} \text{ kj}$$

Dies sind 83.1 % des jährlichen Energieinhalts von K_z , enthalten in der gesamten Atmosphäre ($1.66 \cdot 10^{18}$ kj). Dieser hohe troposphärische Anteil resultiert einerseits aus den großen Windstärken der Westwinddrift in der oberen Troposphäre, jedoch wirkt andererseits die mit wachsender Höhe abnehmende Luftdichte reduzierend. Was die Jahresschwankung von K_z in der Troposphäre angeht, so ist sie zwischen Februar und Juli etwas größer ($0.20 \cdot 10^{18}$ kj) als im Jahresgang gültig für die gesamte Atmosphäre ($0.184 \cdot 10^{18}$ kj). Dies ist 14.5 % des totalen troposphärischen Energieinhalts (1.38) oder 12 % des totalen Atmosphäreninhalts (1.66). Auch im troposphärischen Jahresgang sind neben winterlichen bzw. sommerlichen Plateaus schroffe Übergänge im Frühjahr und Herbst vorhanden.

Die Abb. 15 präsentiert den entsprechenden Jahresgang von K_z , gültig für die gesamte untere Stratosphäre. Was die Monatsmengen angeht, so sind sie - wie schon vorstehend festgestellt wurde - nur etwa 25 bis 30 % von jenen gültig für die gesamte Atmosphäre oder der troposphärischen Monatsmengen. Die totale jährliche Energiemenge, enthalten in der gesamten unteren Stratosphäre, beträgt:

$$\bar{K}_z^{\text{Strat}} = 0.28 \cdot 10^{18} \text{ kj}$$

Diese Menge ist 16.9 % der Jahresmenge, enthalten in der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel ($1.66 \cdot 10^{18}$) oder 20.3 % von jener, enthalten in der Troposphäre. Vom winterlich maximalen Wert im Januar mit $0.042 \cdot 10^{18}$ kj bis zum absolut minimalsten Wert im April von $0.012 \cdot 10^{18}$ kj erfolgt ein steiler Abfall der Monatssummenwerte von K_z von insgesamt $0.030 \cdot 10^{18}$ kj, was etwa 11 % der stratosphärischen Gesamtmenge ($0.28 \cdot 10^{18}$) ausmacht. Von April bis einschließlich September schwanken die Monatssummen von K_z nur relativ mäßig, um dann von Oktober bis Dezember einen, verglichen mit dem frühen Frühlingsabfall, weniger ausgeprägten Spätherbstanstieg auszuführen.

Interpretierbar ist dieser weniger schroff erfolgende Jahresgang von K_z durch den im oberen Teil der unteren Stratosphäre erfolgenden Übergang zwischen der winterlichen Westwindzirkulation (Polarer Nachtjet) zu einer sommerlichen, fast zonal ausgerichteten Ostwindzirkulation. Wie man erkennt, ist die Erstere wesentlich energiereicher als die Letztere. Da sich jedoch im unteren Teil der unteren Stratosphäre ganzjährig vorhandene Westwinddrift-Anteile stets bei der Integration über die gesamte Stratosphäre addieren, geht die zonale kinetische Energie K_z in den Monatssummen der Monate April und August, also zu den Zeitpunkten des Umschlags von West- auf Ostwindzirkulation, nicht auf kleine Monatssummen zurück. Das relative Maximum, verbunden mit der sommerlichen Ostwinddrift, tritt im Juli (etwa $0.018 \cdot 10^{18}$ kj) in Erscheinung, jedoch tritt es im Jahresgang nicht zu deutlich hervor.

5.2.3. Der Jahresgang der Mengen von K_z im Westwind- bzw. Ostwindbereich der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel

Als nächster Schritt der Untersuchung wird angestrebt, den Jahresgang der gesamten Energiemenge von K_z (siehe die frühere Abb. 13) in einer anderen Weise zu zerlegen. Bisher erfolgte in dem Unterkapitel 5.2.2. eine sinnvolle Zertrennung in 2 Stockwerke (Troposphäre und untere Stratosphäre). Jetzt soll durch einen wesentlich aufwendigeren Integrationsprozeß

eine Zerlegung in jene Mengen vorgenommen werden, welche für sich der Westwindregion und der Ostwindregion der gesamten zonalen Zirkulation der Atmosphäre der Nordhalbkugel zukommen. Während im Unterkapitel 5.2.2. die von Monat zu Monat variable Höhenlage der Tropopause als Trennlinie diente, ist jetzt die Nulllinie zwischen West- und Ostwinden, welche natürlich ebenfalls von Monat zu Monat und in der Vertikalen recht variable Positionen im Schnitt einnimmt (siehe die Nulllinien in den Abb. 1 bis 12) als Separationslinie zu berücksichtigen. Das Verfahren einer schichtweise verfeinerten Integration in Troposphäre und Stratosphäre und Zertrennung in West- bzw. Ostwindbereiche wurde im Kapitel 4.3. schon näher erläutert. Hier wird jetzt schon die Aufsummierung dieser Einzelmengen zu integralen Mengen, gültig für den West- bzw. Ostwindbereich der gesamten Atmosphäre, präsentiert.

Die Abb. 16 enthält den resultierenden Jahresgang von K_z , gültig für den Westwindbereich der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel.

In der Westwinddrift sind es vor allem die Starkwinde rund um den Kern des Subtropenstrahlstroms und jene um den Kern des Polaren Nacht-Strahlstroms, welche den Hauptbeitrag zur zonalen kinetischen Energie K_z liefern werden. Dies wird vor allem im Winter große Beiträge ergeben. Zum Sommer hin reduziert sich nicht nur die Ausdehnung der Westwinddrift, speziell in der Stratosphäre, wo sie ganz erlischt, sondern sie verliert auch sehr an Intensität, so daß die Beiträge zu K_z erheblich kleiner ausfallen müssen. Dies ist es auch, was die Abb. 16 deutlich zu erkennen gibt. Die Jahresmenge von K_z ergibt sich für die Westwinddrift zu:

$$\bar{K}_z^W = 1.52 \cdot 10^{18} \text{ kj},$$

was 91.6 % der Jahresgesamtenergie ($1.66 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) entspricht. Dies zeigt deutlich, daß für das Jahr gesehen die Westwinddrift den überragenden Anteil an der kinetischen Energie der zonalen Grundzirkulation der Atmosphäre liefert. Das winterliche Monatsmaximum - fast gleich groß im Dezember, Januar

und Februar, mit etwa $0.233 \cdot 10^{18}$ kJ - erreicht sogar 96.7 % des entsprechenden Wintermaximums von K_z (0.241), gültig für die gesamte Atmosphäre. Im Sommerminimum ($0.030 \cdot 10^{18}$ kJ), welches deutlich im Juli eintritt, beträgt derselbe Anteil nur 52.6 % des entsprechenden Juli-Wertes (0.057), was anzeigt, daß im Sommer etwa nur die Hälfte der Gesamtenergiemenge von K_z von der Westwinddrift verursacht ist. Die Form des Jahresganges in der Westwinddrift ist zwar im Prinzip ähnlich jener, gültig für die Gesamtatmosphäre, jedoch bestehen auch einige markante Unterschiede. Der plateau-artige Charakter, welcher im Winter im Jahresgang gleichfalls vorhanden ist, geht im Sommer verloren. Dementsprechend erfolgt der starke Abfall der Energiemengen vom März bis Juni und der entsprechende Anstieg vom August bis Dezember, wobei dieser Anstieg im Spätherbst oder frühen Winter besonders schroff erfolgt. Die gesamte Jahresschwankung beträgt $0.203 \cdot 10^{18}$ kJ, was 13.4 % der im Westwindbereich auftretenden Menge von K_z (1.52) und 12.2 % der gesamten zonalen Energie K_z der Atmosphäre ausmacht.

Die Abb. 17 zeigt den Jahresgang der zonalen kinetischen Energie K_z , gültig für den Ostwindbereich der gesamten Atmosphäre. Dieser Bereich enthält in der Hauptsache die zonalen Ostwindkomponenten des Passats in der unteren Troposphäre, einen schmalen hochtroposphärischen Ostwindanteil und die stärkeren stratosphärischen Ostwinde, die im Sommerhalbjahr im gesamten oberen Teil der unteren Stratosphäre Einfluß nehmen. Die inverse Form des Jahresganges zeigt deutlich, daß die Letzteren im Sommerhalbjahr von Mai bis einschließlich September dominieren. Das Maximum an zonaler kinetischer Energie tritt im Juli ein ($0.027 \cdot 10^{18}$ kJ). Die übrige Zeit des Jahres von Oktober bis April im Winter zeigt wenig Änderung der Monatssummen. In dieser Zeitperiode ist die kleinste Monatsmenge im Dezember vorhanden ($0.0058 \cdot 10^{18}$ kJ). Schon die Größenordnung dieser Extremwerte zeigt den kleinen Anteil von K_z , welcher der Ostwinddrift im Winter zufällt (im Dezember, im Januar oder im Februar etwa nur 3 %). Dagegen ist der

entsprechende Anteil im Juli etwa die Hälfte, die andere Hälfte entfällt auf die Westwinddrift, wie schon besprochen wurde. Als Jahresgesamtmenge von K_z in der Ostwindregion der Atmosphäre ergibt sich:

$$\bar{K}_z^E = 0.14 \cdot 10^{18} \text{ kj.}$$

Dies sind nur 8.4 % der zonalen kinetischen Gesamtenergiemenge ($1.66 \cdot 10^{18} \text{ kj}$). Die Jahresschwankung im Ostwindbereich beträgt $0.021 \cdot 10^{18} \text{ kj}$, was 15,1 % vom Gesamtbetrag ($0.14 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) sind.

5.2.4. Der Jahresgang der Mengen von K_z in der Troposphäre separat für ihren Westwind- bzw. Ostwindbereich

Eine weitere Zerlegung der zonalen kinetischen Energiemengen, enthalten in der Troposphäre, in jene Anteile, welche dem troposphärischen Westwindbereich bzw. Ostwindbereich zufallen, präsentieren die Abb. 18 und 19.

Die Abb. 18, gültig für den Westwindbereich der Troposphäre, läßt erkennen, daß der Jahresgang dieses Unterbereiches eine ähnliche Form aufweist wie jener, dargestellt in Abb. 14, gültig für die gesamte Troposphäre. In der Winterzeit sind jedoch von Dezember bis März nur recht geringe Unterschiede in den großen Monatssummen von K_z ($0.196 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) feststellbar, während die minimalen Monatsmengen dem Juli ($0.026 \cdot 10^{18} \text{ kj}$) und dem August zukommen. Schroffe Übergänge entfallen auf die Zeiten von März bis Mai bzw. von Oktober bis Dezember. Die Jahresschwankung ist daher relativ groß ($0.170 \cdot 10^{18} \text{ kj}$), was 13,2 % der in diesem Bereich enthaltenen Jahresgesamtmenge von K_z ausmacht. Die Letztere beträgt:

$$\bar{K}_z^{TW} = 1.29 \cdot 10^{18} \text{ kj.}$$

und somit entfallen 77.7 % der gesamten Menge von K_z der Atmosphäre der Nordhalbkugel auf den Westwindbereich der Troposphäre, dessen zonale kinetische Energie K_z im wesentlichen von den Starkwinden des Subtropen- und in zweiter Linie

von jenen des polaren Jets herrührt.

Gänzlich unterschiedlich ist der Jahresgang von K_z , gültig für den Ostwindbereich der Troposphäre, welchen die Abb. 19 präsentiert. In diesem Bereich integriert man einerseits über die Energie, welche von der zonalen Komponente des Passats geliefert wird und die im Winter maximale Beiträge liefert. Andererseits wird zusätzliche zonale kinetische Energie von den Ostwinden in der mittleren und oberen Troposphäre geliefert, die im Sommer maximale Intensität und Ausdehnung erreichen. Dies ist der Grund, warum zwei deutlich ausgeprägte Maxima im Jahresgang aufscheinen, wovon jenes im Juli ($0.012 \cdot 10^{18}$ kj) wesentlich größer als das sekundäre im Februar ($0.007 \cdot 10^{18}$ kj) ist. Die entsprechenden Minima im Jahresgang entfallen auf den April und den Dezember ($0.005 \cdot 10^{18}$ kj). Insgesamt sind für den Ostwindbereich der Troposphäre ganzjährig wesentlich kleinere Monatssummen von K_z berechenbar als für ihren Westwindbereich (siehe im Vergleich die Abb. 18). Daher ist auch die Jahresgesamtmenge von K_z im Ostwindbereich der Troposphäre entsprechend kleiner:

$$\bar{K}_z^{TE} = 0.09 \cdot 10^{18} \text{ kj} ,$$

was nur 5.4 % von der Gesamtenergie von K_z , enthalten in der Atmosphäre der Nordhalbkugel, ausmacht. Die Jahresschwankung bleibt klein ($0.007 \cdot 10^{18}$ kj) und dies ist nur 0.4 % der Gesamtenergie.

5.2.5. Der Jahresgang der Mengen von K_z in der Stratosphäre, separat für ihren Westwind- bzw. Ostwindbereich

In der Stratosphäre ist generell als Folge der mit der Höhe abnehmenden Dichte weniger zonale kinetische Energie enthalten als in der Troposphäre (etwa im Verhältnis 1:5, wie im Unterkapitel 5.2.2. schon gezeigt wurde). Sowohl im Westwindbereich, als auch im Ostwindbereich der Stratosphäre, sind die jeweiligen Monatssummen von K_z wesentlich kleiner als

in den entsprechenden Bereichen der Troposphäre.

Die Abb. 20 zeigt den Jahresgang, gültig für den Westwindbereich der unteren Stratosphäre. In diesem Bereich liefert der Polare Nacht-Strahlstrom den Hauptbeitrag zur zonalen kinetischen Energie. Von April bis August erlischt diese Westwindzirkulation und geht in eine Ostwindzirkulation über, so daß in dieser Zeit nur geringe Mengen von K_z - resultierend aus noch westlichen Winden - oberhalb der Tropopause im Westwindbereich der unteren Stratosphäre im Jahresgang erscheinen. Die Abb. 20 zeigt diese Merkmale sehr deutlich, da winterlich hohen Monatsbeträgen (Maximum im Dezember mit $0.042 \cdot 10^{18}$ kj) recht niedrige im Zeitbereich von April bis August (Minimum im Juli mit nur $0.002 \cdot 10^{18}$ kj) gegenüberstehen. Rapide, sehr schroffe Änderungen zwischen Februar und April und von Oktober bis Dezember zeigen den schnellen Abfall bzw. Anstieg von K_z , verursacht durch das Erlöschen des Polaren Nacht-Jets im frühen Frühjahr und durch seine Intensivierung im Spätherbst.

Gänzlich unterschiedlich und gegenläufig erfolgt die Änderung von K_z im Jahresablauf im Ostwindbereich der unteren Stratosphäre (siehe die Abb. 21). Dort ist die zonale kinetische Energie allein durch die Ostwinddrift im oberen Teil der unteren Stratosphäre kontrolliert.

Diese Ostwinde verstärken sich im Sommerhalbjahr und nehmen dann den ganzen Breitenbereich vom Äquator bis zum Pol ein. In der Winterzeit schwächen sie sich ab und machen dem Polaren Nacht-Jet Platz, auch ziehen sie sich mit ihrem Kernbereich im zentralen Winter in die Südhalbkugel zurück. Damit wird verständlich, daß das Minimum im Dezember, Januar und Februar mit nur $0.0005 \cdot 10^{18}$ kj und das Maximum im Juli mit $0.012 \cdot 10^{18}$ kj auftritt. Die Jahresschwankung bleibt in Grenzen ($0.011 \cdot 10^{18}$ kj).

Als Jahresgesamtbeträge von K_z im Westwindbereich der Stratosphäre errechnet sich:

$$\bar{K}_z^{SW} = 0.231 \cdot 10^{18} \text{ kj,}$$

während die gleiche Menge von K_z im Ostwindbereich derselben nur:

$$\bar{K}_z^{SE} = 0.050 \cdot 10^{18} \text{ kj}$$

beträgt. Dies sind für den stratosphärischen Westwindbereich 13.9 % und für den stratosphärischen Ostwindbereich 3.0 % des totalen Betrages von K_z in der gesamten Atmosphäre der Nordhalbkugel.

Zusammenfassend für die in den Unterkapiteln 5.2.1. bis 5.2.4. getroffenen Feststellungen präsentiert die Tabelle 6 nochmals Angaben über die Menge von K_z , enthalten in den einzelnen 9 Teilbereichen der Atmosphäre der Nordhalbkugel, verbunden mit charakteristischen Merkmalen des Jahresganges, in diesen Bereichen (maximale bzw. minimale Monatsmengen mit Angaben über die Eintrittsmonate, Jahresschwankung). Dabei besitzen mehrere Monate, wenn verzeichnet, nahezu gleiche Mengen. Die unterstrichenen Monate sind die exakten Eintrittsmonate für die maximalen bzw. minimalen Mengen. Alle verzeichneten Prozentangaben beziehen sich auf die Jahresgesamtmenge von K_z von $1.66 \cdot 10^{18}$ kj, welche gleich 100 % gesetzt wurde.

Damit ist die Diskussion über die integralen Monatsmengen von K_z separat für die gesamte Atmosphäre oder für 8 Teilbereiche von ihr und über die Charakteristiken des Jahresganges von K_z in diesen Bereichen abgeschlossen.

Das Ziel des nachfolgenden Kapitels 5.3. wird es sein, die bisherige Diskussion über die Mengen von K_z in Großbereichen der Atmosphäre mit Hinsicht auf die Abhängigkeit dieser Mengen an zonaler kinetischer Energie von der geographischen Breite innerhalb von fünf meteorologisch sinnvoll gewählten Schichten der Atmosphäre zu erweitern.

Abb.13. Jahresgang der Menge von $K_{\frac{1}{2}}$
in Einheiten von 10^{16} Kilojoule gül-
tig für die gesamte Atmosphäre der
Nordhalbkugel (0 bis 90° , 1000 bis 10 mb).

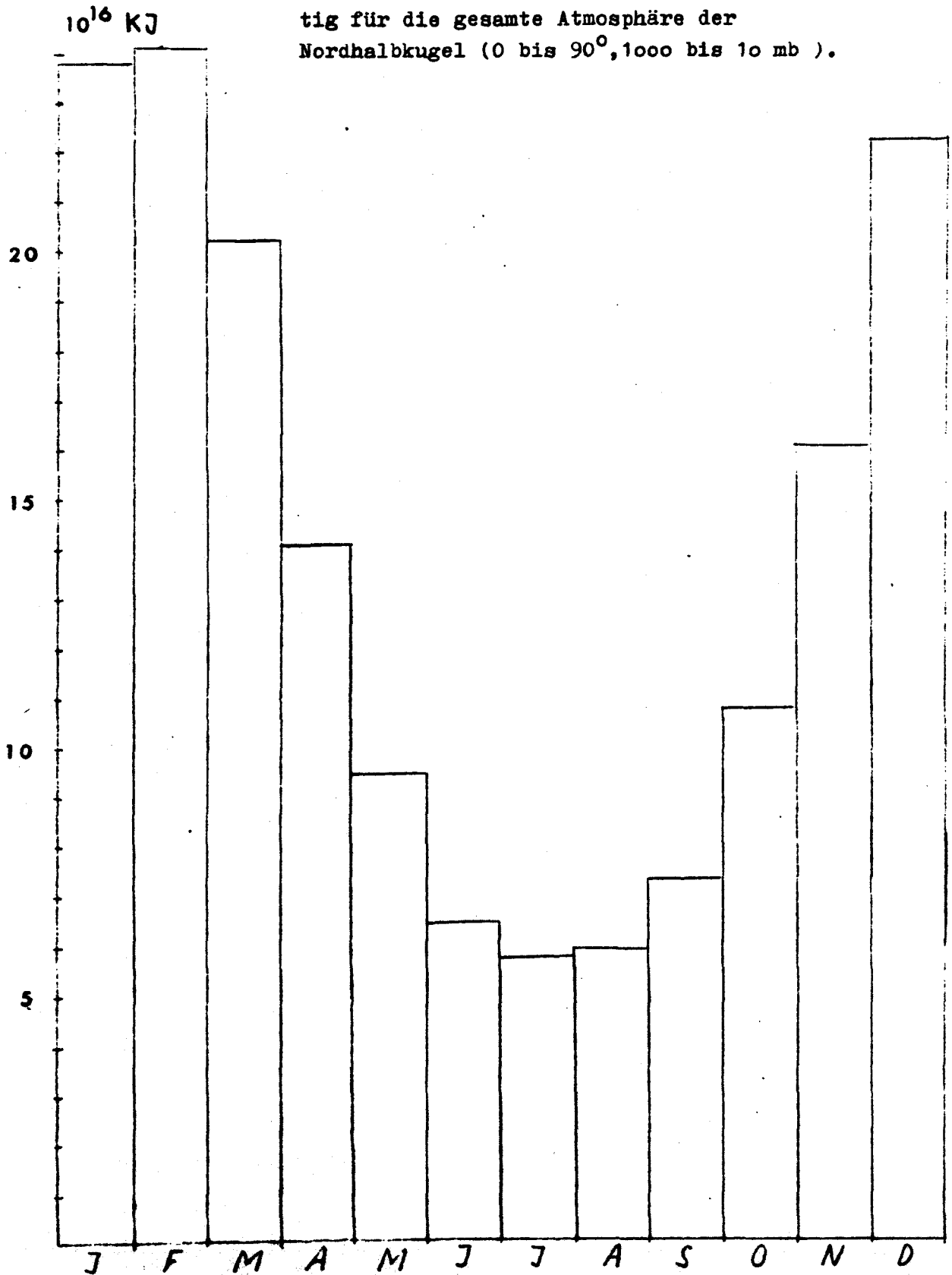


Abb.14. Jahresgang der Menge von $K_{\frac{1}{2}}$ in Einheiten von 10^{16} Kilojoule gültig für die gesamte Troposphäre der Nordhalbkugel (0 bis 90° , 1000 mb bis Tropopause).

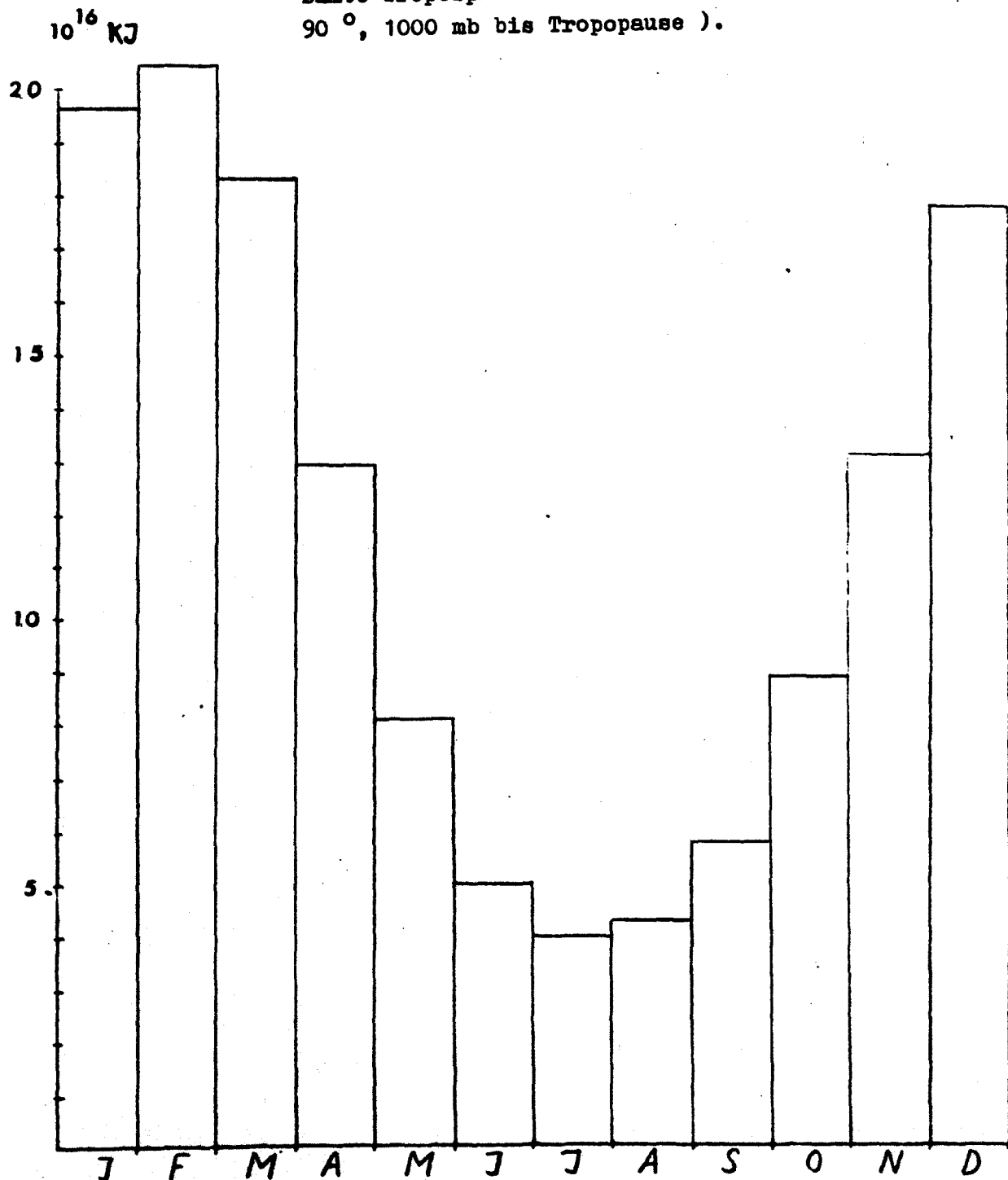


Abb.15. Jahresgang der Menge von K_z in Einheiten von 10^{16} Kilojoule gültig für die gesamte untere Stratosphäre der Nordhalbkugel (0 bis 90° , Tropopause bis 10 mb).

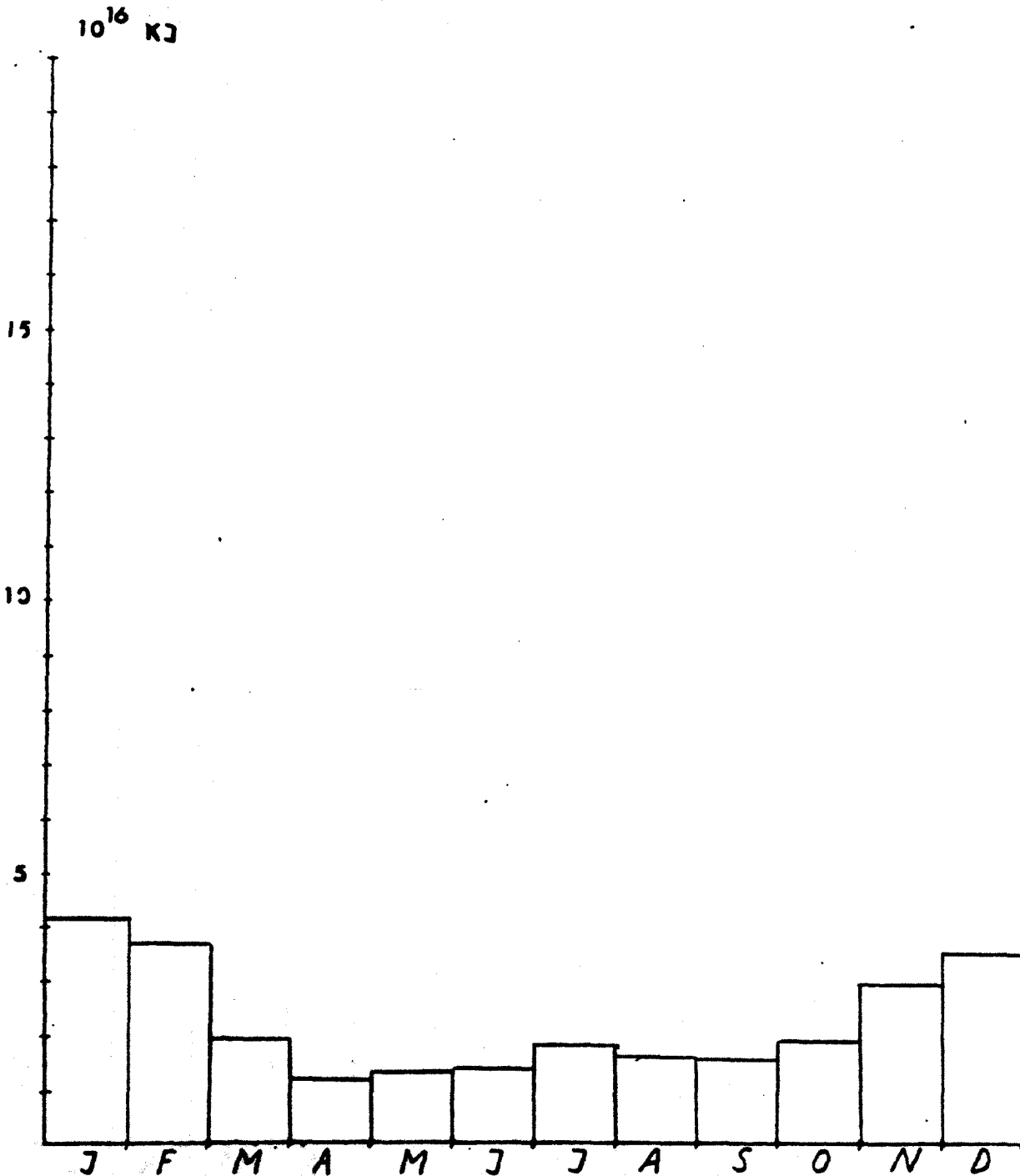
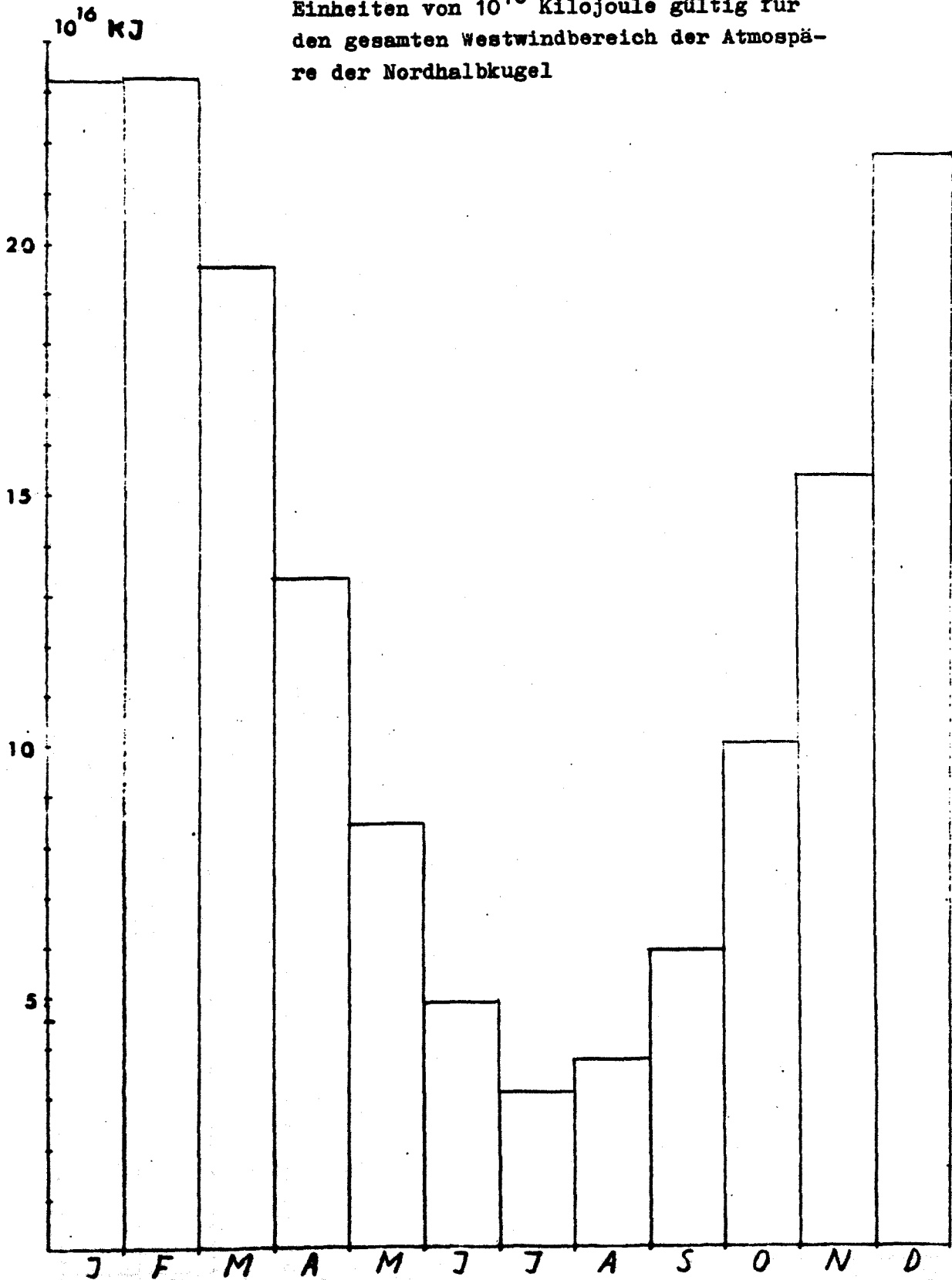


Abb.16. Jahresgang der Menge von K_z in Einheiten von 10^{16} Kilojoule gültig für den gesamten Westwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel



10^{15} kJ

- 70 -

Abb.17. Jahresgang der menge von K_z in Einheiten von 10^{15} Kilojoule gültig für den gesamten Ostwindbereich der Atmosphäre

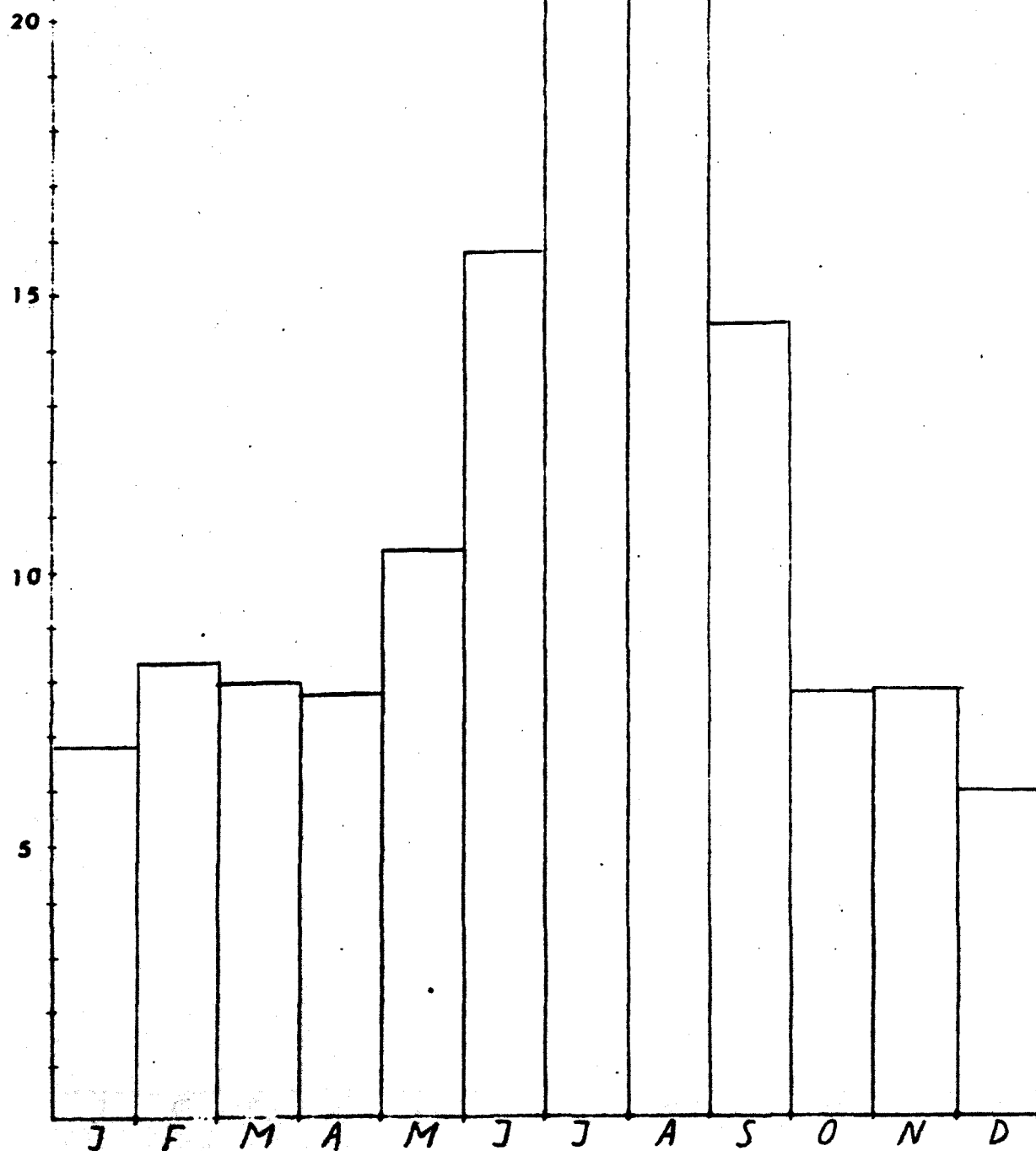


Abb.18. Jahresgang der Menge von K_z in Einheiten von 10^{16} Kilojoule gültig für den troposphärischen Westwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel

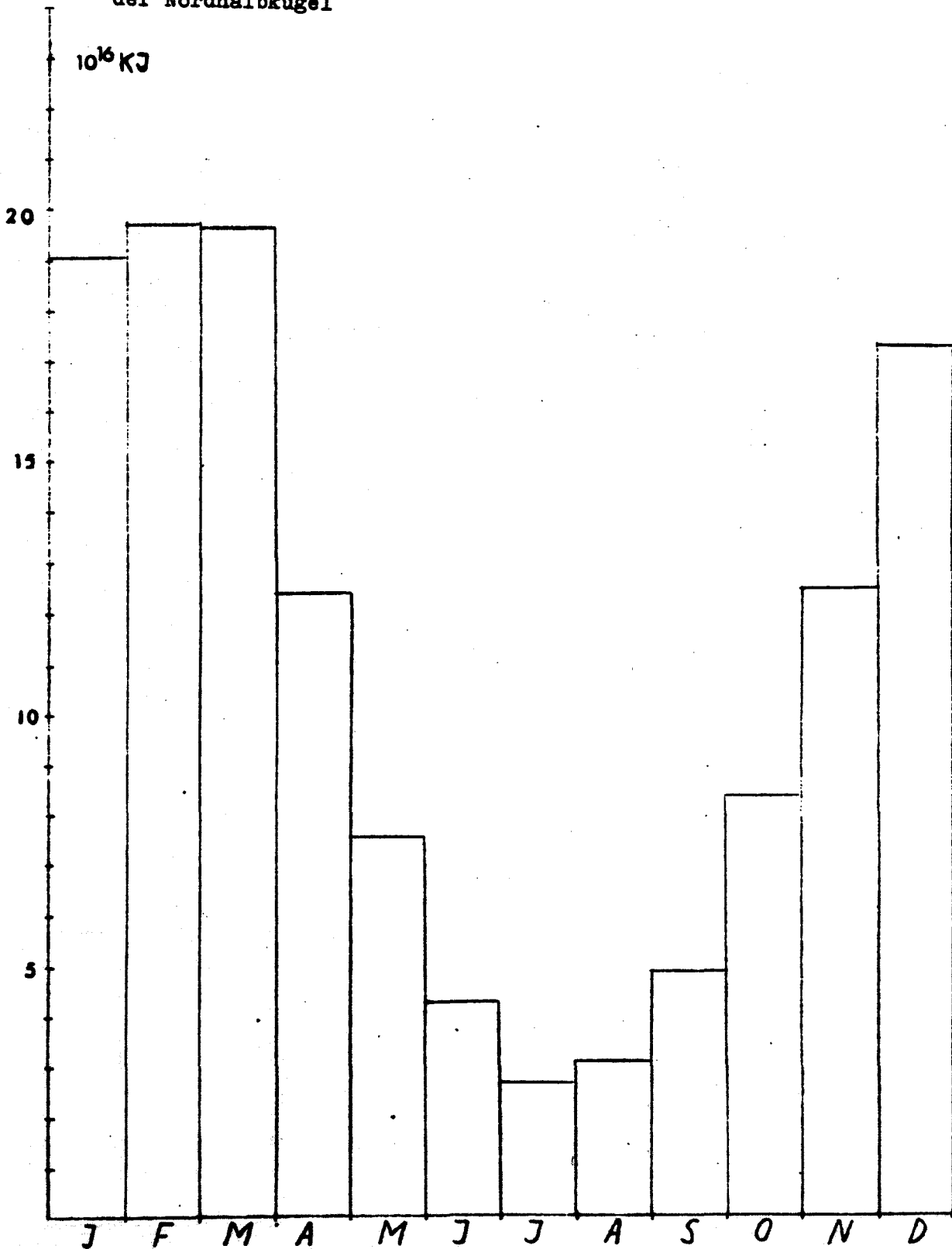


Abb.19. Jahresgang der Menge von K_Z in Einheiten von 10^{15} Kilojoule gültig für den troposphärischen Ostwindbereich der Atmosphäre der Nordhalbkugel

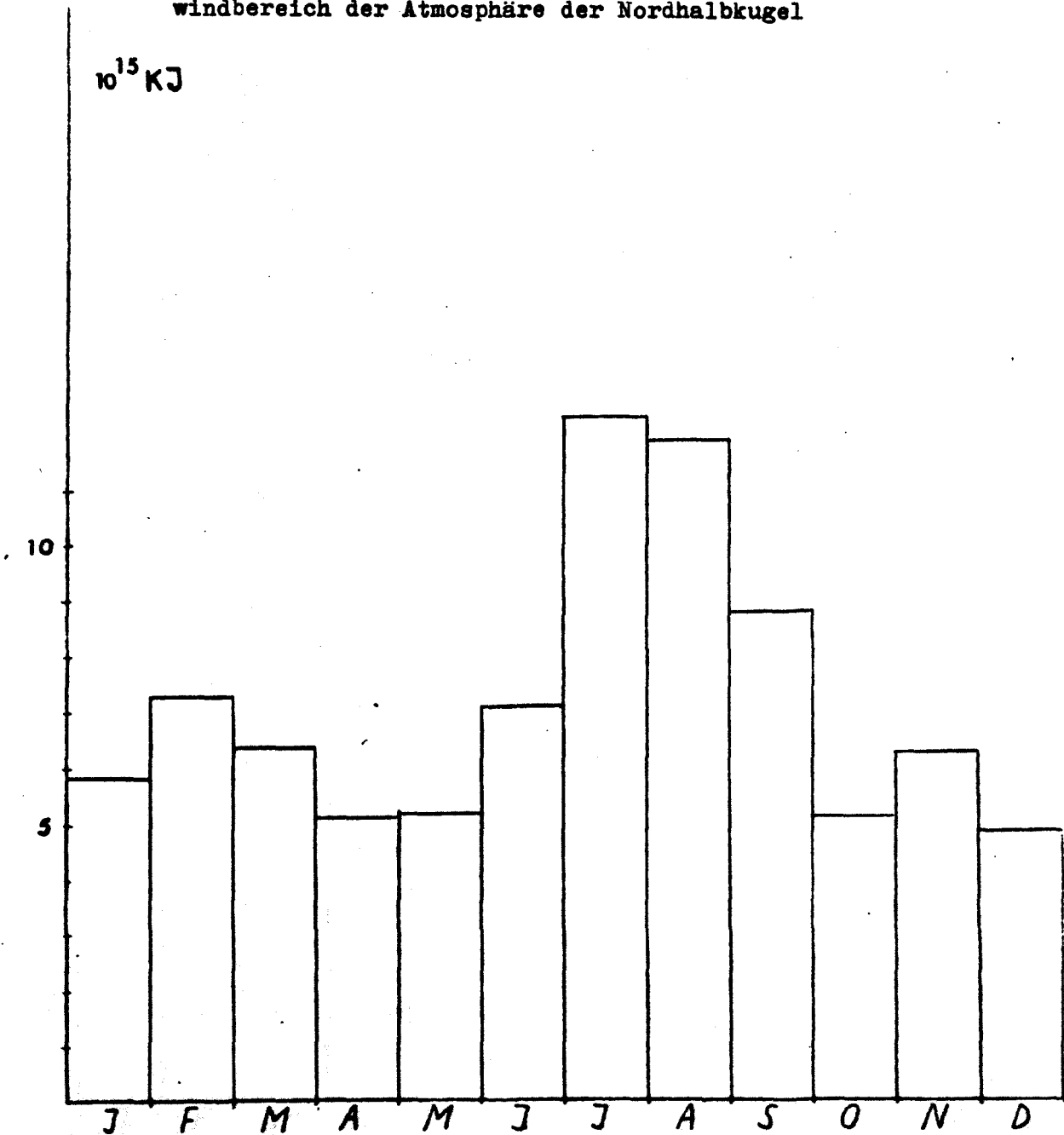


Abb.20. Jahresgang der menge von K_z in Einheiten von 10^{15} Kilojoule gültig für den Westwindbereich der unteren Stratosphäre der Atmosphäre der Nordhalbkugel

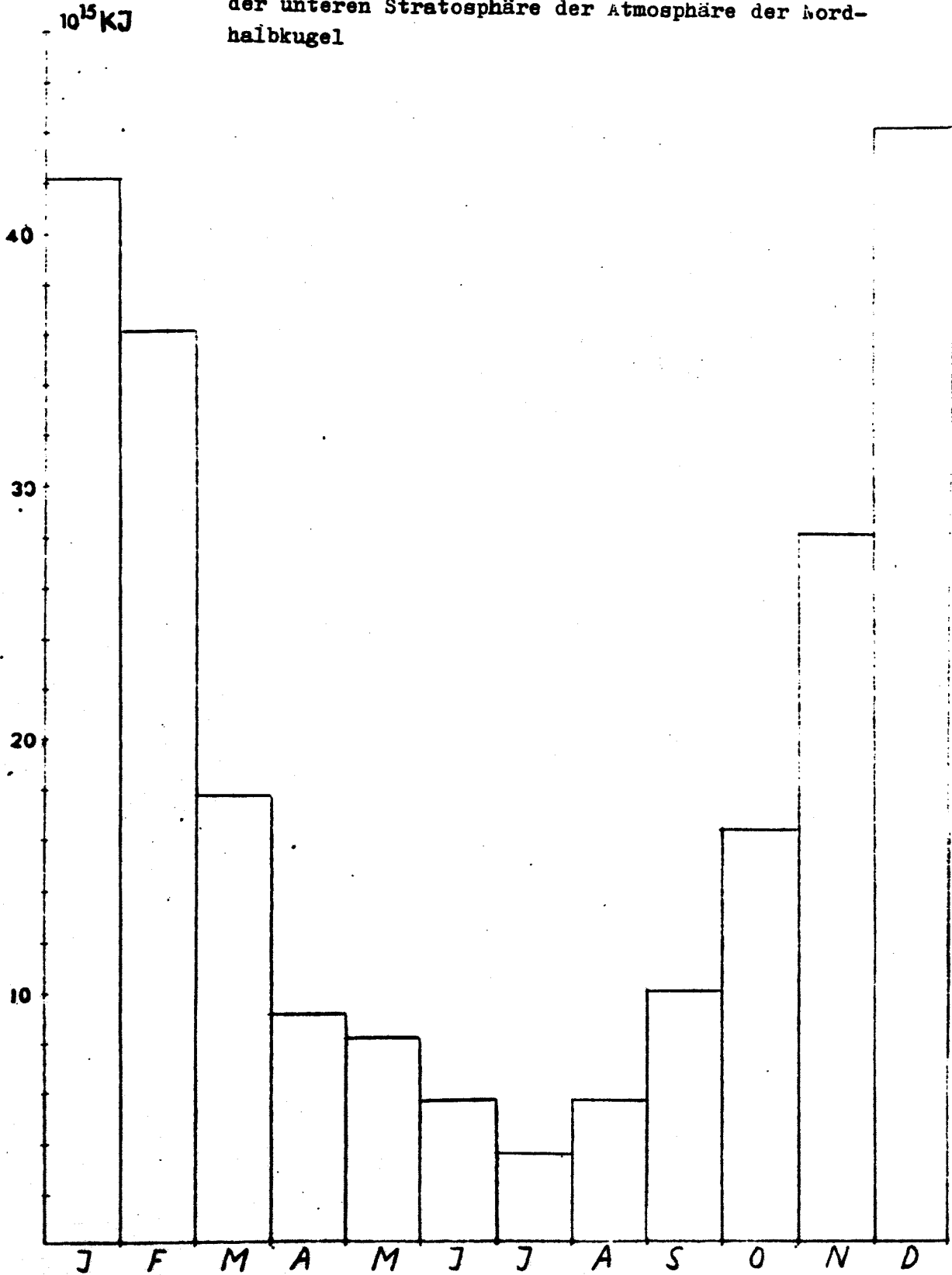


Abb.21. Jahresgang der Menge von K_z in Einheiten von 10^{15} Kilojoule gültig für den Ostwindbereich der unteren Stratosphäre der Nordhalbkugel

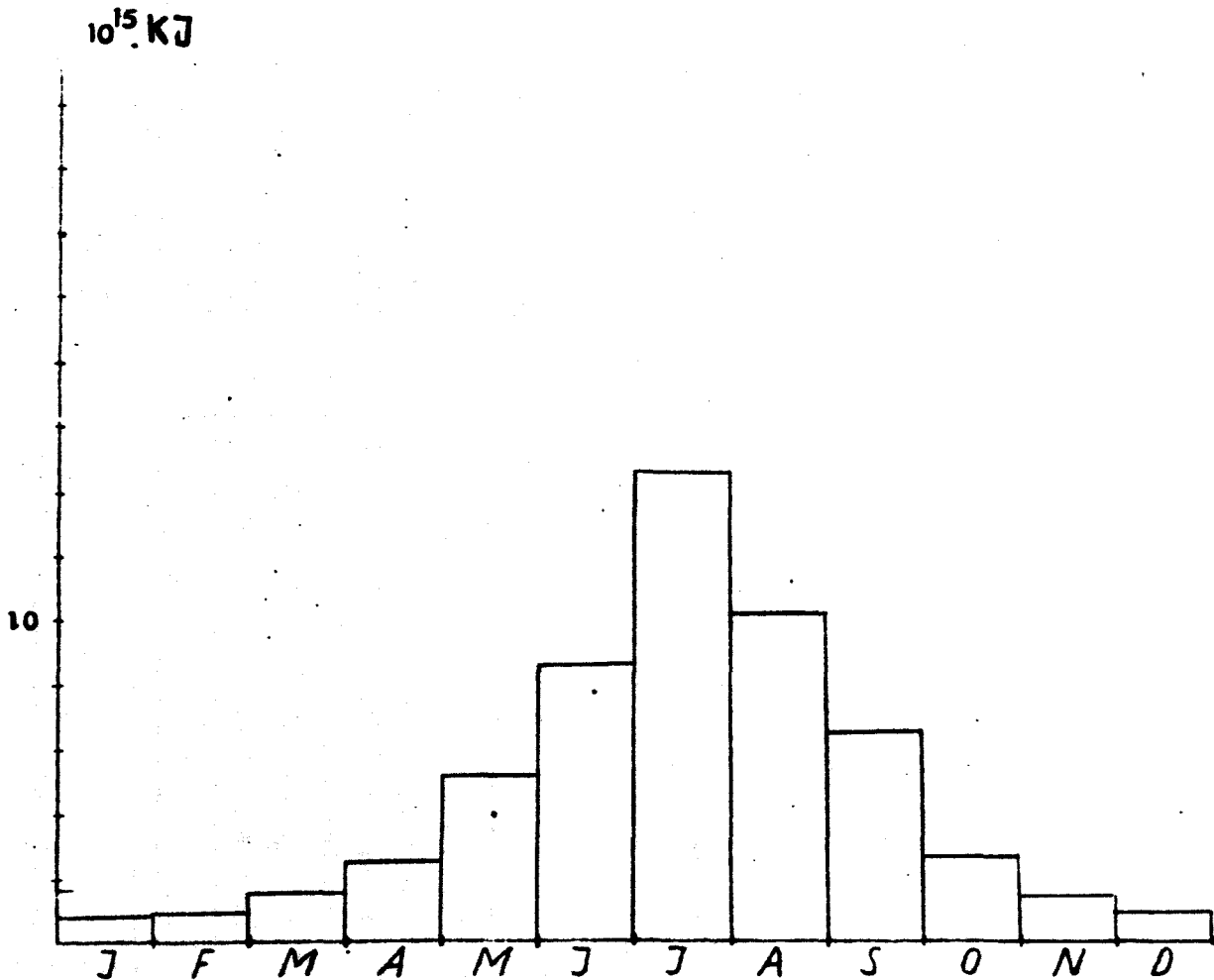


Tabelle 6: Hauptintegrationsergebnisse für K_z und Eigenschaften seines Jahresganges in der Atmosphäre der Nordhalbkugel

Jahresgang von K_z

Integrations-Bereich		Menge von K_z (10^{18} kj)	Monatsmaximum (10^{18} kj)	Monatsminimum (10^{18} kj)	Jahresschwankung (Max -- Min)	Abb. Nr.
Gesamte Atmosphäre (0-90°N, 1000-10mb)		1.66 (100 %)	0.241 Dez, Jan, <u>Febr</u>	0.057 Jun, <u>Jul</u> , Aug	0.184	13
Troposphäre (0-20°N, 1000mb-Tropopause)		1.38 (83,1%)	0.204 Dez, Jan, <u>Febr</u>	0.039 <u>Jul</u> , Aug	0.165	14
Stratosphäre (0-90°N, Tropopause-10mb)		0.28 (16,9%)	0.042 Dez, <u>Jan</u>	0.012 <u>Apr</u> ↔ Sept	0.030	15
Westwind-Bereich		1.52 (91,6%)	0.233 Dez, Jan, <u>Febr</u>	0.030 <u>Juli</u>	0.203	16
Ostwind-Bereich		0.14 (8,4%)	0.027 <u>Juli</u>	0.006 <u>Dez</u> ↔ Apr	0.021	17
Tropo- sphäre	Westwind- Bereich	1.29 (77,7%)	0.196 Dez, Ja, <u>Fe</u> , Mä	0.026 <u>Jul</u> , Aug	0.170	18
	Ostwind- Bereich	0.09 (5,4%)	0.012 <u>Juli</u>	0.007 Febr	0.005 <u>Apr</u> , <u>Dez</u>	0.007
Strato- sphäre	Westwind- Bereich	0.23 (13,9%)	0.042 <u>Dez</u> , Jan	0.002 <u>Juli</u>	0.040	20
	Ostwind- Bereich	0.05 (3,0%)	0.012 <u>Juli</u>	0.0005 Dez, <u>Jan</u> , Febr	0.011	21

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- J A N U A R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	4,05	2,10	1,92 0,02	2,10	1,92	0	0	
800 - 600	13,89	12,11	1,77	12,11	1,77	0	0	
600 - 400	40,98	39,70	1,27	39,70	1,27	0	0	
400 - 300	41,91	41,51	0,39	41,50	0,39	0	0	
300 - 200	61,62	61,35	0,26	55,77	0,26	5,58	0	
200 - 140	37,06	36,90	0,11	27,04	0,11	9,85	0	
140 - 100	16,79	16,72	0,06	9,56	0,06	7,15	0	
100 - 70	8,11	8,04	0,06	2,27	0,04	5,77	0,01	
70 - 50	3,46	3,39	0,07	0	0	3,39	0,07	
50 - 30	3,53	3,36	0,16	0	0	3,36	0,16	
30 - 20	2,53	2,34	0,19	0	0	2,34	0,19	
20 - 10	3,96	3,58	0,37	0	0	3,58	0,37	
}	237,91	231,15	6,73	190,09	5,87	41,05	0,82	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- F E B R U A R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	3,84	1,79	2,02 0,02	1,79	2,05	0	0	
800 - 600	13,56	11,54	2,01	11,54	2,01	0	0	
600 - 400	40,81	38,89	1,91	38,89	1,91	0	0	
400 - 300	41,76	41,12	0,63	40,99	0,63	0,13	0	
300 - 200	63,70	63,33	0,36	55,26	0,36	8,06	0	
200 - 140	42,08	41,90	0,17	37,16	0,17	4,73	0	
140 - 100	17,80	17,72	0,07	10,14	0,07	7,57	0	
100 - 70	6,99	6,91	0,07	0,91	0,01	5,99	0	
70 - 50	2,88	2,78	0,09	0	0	2,78	0,09	
50 - 30	2,80	2,58	0,21	0	0	2,58	0,21	
30 - 20	1,95	1,71	0,24	0	0	1,71	0,24	
20 - 10	2,85	2,40	0,45	0	0	2,40	0,45	
Σ	241,01	232,73	8,30	196,72	7,25	36,10	0,99	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- M A R Z -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	3,30	1,44	1,64 0,21	1,40	1,85	0	0	
800 - 600	12,11	10,40	1,70	10,40	1,70	0	0	
600 - 400	35,46	33,83	1,62	33,83	1,62	0	0	
400 - 300	35,27	34,71	0,55	34,71	0,55	0	0	
300 - 200	54,03	53,67	0,35	48,63	0,35	5,03	0	
200 - 140	35,38	35,20	0,177	34,64	0,17	0,55	0	
140 - 100	15,45	15,35	0,09	12,95	0,09	2,47	0	
100 - 70	5,34	5,24	0,10	0	0	5,24	0,10	
70 - 50	1,80	1,66	0,14	0	0	1,66	0,14	
50 - 30	1,5	1,48	0,34	0	0	1,48	0,34	
30 - 20	1,06	0,29	0,36	0	0	0,29	0,36	
20 - 10	1,48	0,83	0,64	0	0	0,83	0,64	
Σ	202,24	194,16	7,96	176,23	6,36	17,57	1,60	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- A P R I L -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	2,46	1,11	1,33 0,02	1,11	1,35	0	0	
800 - 600	8,81	7,26	1,54	7,26	1,54	0	0	
600 - 400	25,20	24,04	1,15	24,04	1,15	0	0	
400 - 300	25,21	24,90	0,29	24,90	0,29	0	0	
300 - 200	38,21	37,92	0,28	36,51	0,28	1,41	0	
200 - 140	24,25	23,98	0,26	20,98	0,26	2,99	0	
140 - 100	10,01	9,85	0,15	8,33	0,15	1,52	0	
100 - 70	3,15	2,99	0,15	0,56	0,03	2,42	0,11	
70 - 50	0,60	0,41	0,19	0	0	0,41	0,19	
50 - 30	0,61	0,04	0,57	0	0	0,04	0,57	
30 - 20	0,65	0,02	0,63	0	0	0,02	0,63	
20 - 10	1,10	0,04	1,08	0	0	0,04	1,08	
Σ	140,31	132,62	7,69	123,73	5,09	8,88	2,59	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- M A I -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	1,78	0,75	1,03	0,73	1,03	0	0	
800 - 600	6,03	4,65	1,38	4,65	1,38	0	0	
600 - 400	16,58	15,38	1,20	15,56	1,20	0	0	
400 - 300	16,25	16,01	0,23	15,82	0,23	0	0	
300 - 200	24,86	24,26	0,59	22,20	0,59	2,05	0	
200 - 140	15,33	14,87	0,45	11,71	0,26	3,15	0,18	
140 - 100	6,26	5,86	0,39	4,75	0,39	1,11	0	
100 - 70	1,99	1,69	0,30 0,00	0,15	0	1,54	0,30	
70 - 50	0,57	0,13	0,39 0,04	0	0	0,13	0,43	
50 - 30	1,06	0,00	1,05	0	0	0,00	1,05	
30 - 20	1,12	0	1,12	0	0	0	1,12	
20 - 10	2,04	0	2,04	0	0	0	2,04	
Σ	93,92	83,63	10,27	75,61	5,12	8,00	5,15	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie
im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- J U N I -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	0,98	0,49	0,48 0,01	0,49	0,49	0	0	
800 - 600	3,78	2,72	1,05	2,65	1,05	0	0	
600 - 400	10,23	8,80	1,42	8,69	1,42	0	0	
400 - 300	10,07	9,20	0,86	9,20	0,86	0	0	
300 - 200	15,65	14,28	1,36	13,33	1,36	0,95	0	
200 - 140	9,52	8,46	0,00 1,05	5,99	1,05	2,47	0	
140 - 100	4,01	3,20	0,80 0,00	2,00	0,80	1,19	0,00	
100 - 70	1,66	0,84	0,78 0,03		0	0,84	0,81	
70 - 50	0,96	0,06	0,82 0,07		0	0,06	0,90	
50 - 30	1,74	0	1,74		0	0	1,74	
30 - 20	1,72	0	1,72		0	0	1,72	
20 - 10	3,44	0	3,44		0	0	3,44	
Σ	63,80	48,09	15,70	42,37	7,06	5,52	8,64	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie
im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- J U L I -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	0,88	0,49	<u>0,37</u> 0,01	0,49	0,39	0	0	
800 - 600	2,86	2,06	0,79	2,06	0,79	0	0	
600 - 400	7,87	6,09	1,77	6,09	1,77	0	0	
400 - 300	7,47	5,98	1,49	5,98	1,49	0	0	
300 - 200	11,56	8,92	2,63	8,93	2,63	0	0	
200 - 140	7,66	5,07	2,58	2,65	2,58	2,41	0	
140 - 100	3,66	1,42	<u>2,23</u> 0,00	0,65	2,23	0,77	0,00	
100 - 70	2,25	0,20	<u>2,03</u> 0,00	0,01	0,40	0,19	1,64	
70 - 50	1,98	0,00	1,93	0	0	0,00	1,98	
50 - 30	3,50	0	3,50	0	0	0	3,50	
30 - 20	2,82	0	2,82	0	0	0	2,82	
20 - 10	4,66	0	4,66	0	0	0	4,66	
Σ	57,21	30,28	26,92	26,89	12,31	3,39	14,61	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- A U G U S T -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	0,90	0,51	0,37 0,01	0,51	0,39	0	0	
800 - 600	3,14	2,43	0,70	2,43	0,70	0	0	
600 - 400	8,90	7,14	1,75	7,14	1,75	0	0	
400 - 300	8,58	7,02	1,55	7,02	1,55	0	0	
300 - 200	13,39	10,55	2,83	9,04	2,83	1,50	0	
200 - 140	8,58	5,92	2,66	2,96	2,66	2,95	0	
140 - 100	3,83	1,79	2,03	1,74	1,93	0,05	0,10	
100 - 70	2,12	0,95	1,16 0,00	0	0	0,95	1,16	
70 - 50	1,47	0,03	1,44		0	0,03	1,44	
50 - 30	2,43	0	2,43		0	0	2,43	
30 - 20	2,06	0	2,06		0	0	2,06	
20 - 10	3,05	0	3,05		0	0	3,05	
Σ	58,50	36,38	22,11	30,87	11,85	5,50	10,26	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- S E P T E M B E R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	1,39	0,74	0,64 0,01	0,68	0,65	0	0	
800 - 600	4,55	3,57	0,98	3,57	0,98	0	0	
600 - 400	12,98	11,12	1,85	11,12	1,85	0	0	
400 - 300	12,54	11,25	1,28	11,25	1,28	0	0	
300 - 200	18,27	16,39	1,87	13,63	1,87	2,76	0	
200 - 140	10,97	9,70	1,26	6,28	1,26	3,41	0	
140 - 100	4,85	4,02	0,82	2,14	0,82	1,87	0	
100 - 70	1,98	1,24	0,74	0,02	0,00	1,21	0,73	
70 - 50	1,03	0,28	0,75	0	0	0,28	0,75	
50 - 30	1,45	0,13	1,31	0	0	0,13	1,31	
30 - 20	1,15	0,07	1,08	0	0	0,07	1,08	
20 - 10	1,72	0,02	1,70	0	0	0,02	1,70	
Σ	72,93	58,57	14,35	48,74	8,75	9,78	5,59	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kj}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- O K T O B E R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	2,26	1,40	0,84 0,01	1,40	0,86	0	0	
800 - 600	7,80	6,57	1,23	6,57	1,23	0	0	
600 - 400	20,68	19,54	1,13	19,54	1,13	0	0	
400 - 300	19,03	18,53	0,49	18,53	0,49	0	0	
300 - 200	26,92	26,33	0,58	20,94	0,58	5,39	0	
200 - 140	15,96	15,52	0,43	11,66	0,43	3,85	0	
140 - 100	6,74	6,47	0,26	4,50	0,26	1,97	0	
100 - 70	2,61	2,35	0,26	0,24	0,02	2,11	0,23	
70 - 50	1,15	0,79	0,35	0	0	0,79	0,35	
50 - 30	1,44	0,73	0,70	0	0	0,73	0,70	
30 - 20	1,10	0,52	0,57	0	0	0,52	0,57	
20 - 10	1,69	0,85	0,83	0	0	0,85	0,83	
Σ	107,41	99,65	7,74	83,40	5,04	16,24	2,70	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kJ}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- N O V E M B E R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	3,50	1,73	1,74 0,02	1,73	1,76	0	0	
800 - 600	11,05	9,22	1,82 0,00	9,22	1,82	0	0	
600 - 400	29,92	28,61	1,30	28,61	1,30	0	0	
400 - 300	27,98	27,16	0,81	27,16	0,81	0	0	
300 - 200	40,50	40,22	0,27	32,55	0,27	7,66	0	
200 - 140	24,45	23,27	0,17	17,25	0,17	7,01	0	
140 - 100	11,30	11,19	0,10	7,22	0,10	3,96	0	
100 - 70	4,85	4,75	0,10	0,76	0,02	3,98	0,08	
70 - 50	17,92	1,65	0,13	0	0	1,65	0,13	
50 - 30	1,55	1,20	0,35	0	0	1,20	0,35	
30 - 20	1,24	0,89	0,34	0	0	0,89	0,34	
20 - 10	2,11	1,54	0,57	0	0	1,54	0,57	
Σ	160,33	152,48	7,78	124,54	6,29	27,94	1,49	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für den Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

Tabelle 7: Integralwerte der zonalen kinetischen Energie $K_z [10^{15} \text{ kj}]$ in Tropo- und/oder Stratosphäre sowie
im Westwind- und/oder Ostwindbereich
- D E Z E M B E R -

Schicht- dicke (mb)	Summe in der gesamten Atmosphäre	Gesamtsumme Westwind- bereich	Gesamtsumme Ostwind- bereich +)	Summe im Westwind- bereich der Troposphäre	Summe im Ostwind- bereich der Troposphäre	Summe im Westwind- bereich der Stratosphäre	Summe im Ostwind- bereich der Stratosphäre	
1000 - 800	4,16	2,16	1,97 0,02	2,16	1,99	0	0	
800 - 600	14,67	13,20	1,46 0,00	13,20	1,46	0	0	
600 - 400	42,55	41,60	0,94	41,60	0,94	0	0	
400 - 300	39,91	39,72	0,18	39,72	0,18	0	0	
300 - 200	55,46	55,32	0,13	44,89	0,13	10,42	0	
200 - 140	33,61	33,52	0,08	22,37	0,08	11,14	0	
140 - 100	15,04	14,98	0,05	8,70	0,05	6,28	0	
100 - 70	6,54	6,48	0,05	0	0	6,48	0,05	
70 - 50	2,75	2,69	0,06	0	0	2,69	0,06	
50 - 30	2,65	2,44	0,21	0	0	2,44	0,21	
30 - 20	2,02	1,76	0,25	0	0	1,76	0,25	
20 - 10	3,24	2,81	0,43	0	0	2,81	0,43	
Σ	222,66	216,75	5,87	172,68	4,85	44,06	1,01	

+) bei zwei Werten in einer Schicht gilt der obere Wert für
die Äquator- und der untere Wert für den Polbereich

5.3. DIE ABHÄNGIGKEIT DER KINETISCHEN ENERGIE K_z VON DER GEOGRAPHISCHEN BREITE IN 5 SCHICHTEN DER ATMOSPHERE

Die in den Abb. 22 - 27 separat für jeden Monat gezeichneten und in Reihen von je drei Bildern nach Jahreszeiten zusammengestellten Darstellungen wurden aus den Punktwerten der kinetischen Energie nach den im Kapitel 4. über das Integrationsverfahren beschriebenen Methoden gewonnen. Jedes Bild gibt so einen guten Überblick über den Jahresgang von K_z als Funktion der geographischen Breite. Die betrachteten fünf Höhenschichten repräsentieren zusammen den gesamten betrachteten Bereich (siehe Abb. 22) der Atmosphäre (1000 mb bis 10 mb).

5.3.1. Die Variation der Menge von K_z mit der geographischen Breite für alle zwölf Monate des Jahres und die gesamte Atmosphäre der Nordhalbkugel

Die in der Abb. 22 zusammengefaßten zwölf Einzeldarstellungen für alle Monate des Jahres machen eine Aussage sowohl über die absolute Menge von K_z in jeder der 5 Breitengrade weiten Zonen der Nordhemisphäre (durchgezogene Kurve), als auch über den Betrag von K_z pro Flächeneinheit (gestrichelte Kurve). Die größten K_z -Werte werden im Winter zwischen 30° und 35°N angetroffen (Februar: $54 \cdot 10^{18}$ Joule bzw. $27,9 \cdot 10^5$ Joule/m²). Mit einer recht gleichförmigen Abschwächung dieses Maximums durch das ganze Frühjahr hindurch (Mai: $20 \cdot 10^{18}$ joule bzw. $10,9 \cdot 10^5$ Joule/m²) geht eine Verlagerung nach Norden einher. Diese beiden Tendenzen finden ihren Abschluß im Juli, für welchen Monat der Spitzenwert von K_z über 40° bis 45°N nur mehr $8,3 \cdot 10^{18}$ Joule bzw. $5,1 \cdot 10^5$ Joule pro m² beträgt. Dieses Energiemaximum wird hauptsächlich durch den Subtropenstrahlstrom erzeugt. Der Polarjet tritt nicht als eigenes Maximum in Erscheinung, sein Einfluß wird aber daran deutlich, daß der Abfall vom Subtropenjet-Maximum auf der polaren Seite weit weniger steil ist als es der Anstieg südlich von ihm ist. Auch der Polare Nachtjet stört durch seine Ausbildung im Winter den hier gezeigten Abfall nach Norden hin nicht,

da sein Energieinhalt nur von der Größenordnung 10^4 J/m^2 ist (siehe die spätere Abb. 27) und daher in diesem Bild bei der Einheit 10^5 J/m^2 nicht deutlich hervortreten kann. Im Herbst nimmt mit wachsenden Strahlungsgegensätzen der Betrag dieses durch die beiden Jets erzeugten Maximums bei gleichzeitiger Südwärtsverlagerung wieder zu.

Nur in den drei Sommermonaten tritt ein weiteres Maximum von K_z in Erscheinung, welches größenordnungsmäßig mit dem vorstehend Beschriebenen konkurrieren kann. Es befindet sich über den Tropen und erreicht im Juli mit $5,8 \cdot 10^{18}$ Joule bzw. $2,6 \cdot 10^5 \text{ Joule/m}^2$ seinen größten Wert. In den folgenden Abbildungen, bei denen nur über ganz bestimmte Stockwerke der Atmosphäre integriert wurde, prägt sich dieses durch die Passat-Ostwinde und die stratosphärischen tropischen Ostwinde erzeugte Maximum zum Teil wesentlich stärker aus (siehe Abb. 23 und 27). Die zweite in Abb. 22 enthaltene Kurve hat etwa den gleichen Verlauf wie die oben Beschriebene, zeigt aber, da sie die unterschiedlich großen Flächen der Breitenstücke berücksichtigt (siehe Tabelle 2), daß K_z pro Einheitsfläche in Äquatornähe etwas kleiner, in Polnähe etwas größer ist, als dies die Absolutbeträge vermuten lassen.

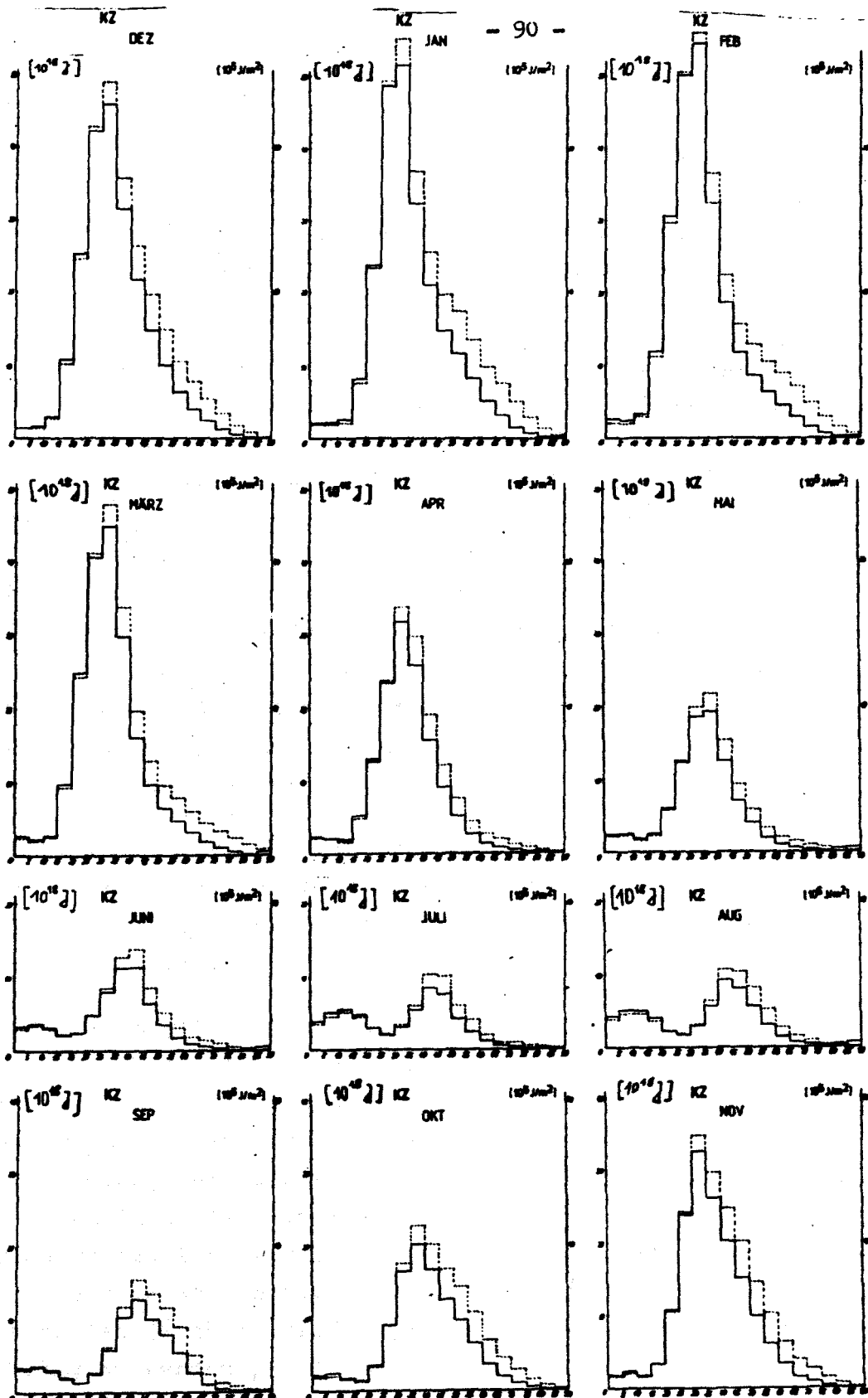


Abb.22. Variation der Menge von K_z mit der geographischen Breite (5 Breiten-
gradzonen) separat für alle 12 Monate des Jahres und für die gesamte Atmos-
phäre der Nordhalbkugel. Ausgezogene Kurve in Einheiten von 10^{18} , gestrichel-
te Kurve in Einheiten von 10^{16} Joule pro m²

5.3.2. Die planetarische Grenzschicht

In dieser Schicht, die von 1000 - 800 mb gewählt wurde, werden naturgemäß die geringsten Werte von K_z angetroffen, da auf Grund des starken Bodenreibungseinflusses die Windgeschwindigkeiten im Vergleich zur freien Atmosphäre relativ schwach bleiben.

Jedes der 12 Einzelbilder der Abb. 23 enthält zwei deutlich ausgeprägte Maxima von K_z , wenn auch von stark mit der Jahreszeit variierender Intensität und Breitenlage. Das eine findet sich im Jahresmittel etwa zwischen 15° und 20°N und wird durch den Nordostpassat verursacht. Das andere, meist etwas stärker ausgeprägte Maximum ist über den gemäßigten Breiten feststellbar und überdeckt einen größeren Flächenbereich (Westwinddrift). Zwischen diesen beiden Maxima findet sich im Jahresmittel nahe von 25°N eine schmale Zone mit niedriger zonaler kinetischer Energie. Diese Minimalmengen werden nur noch von jenen im polaren Bereich (Gebiete nördlich von 60°N) unterschritten.

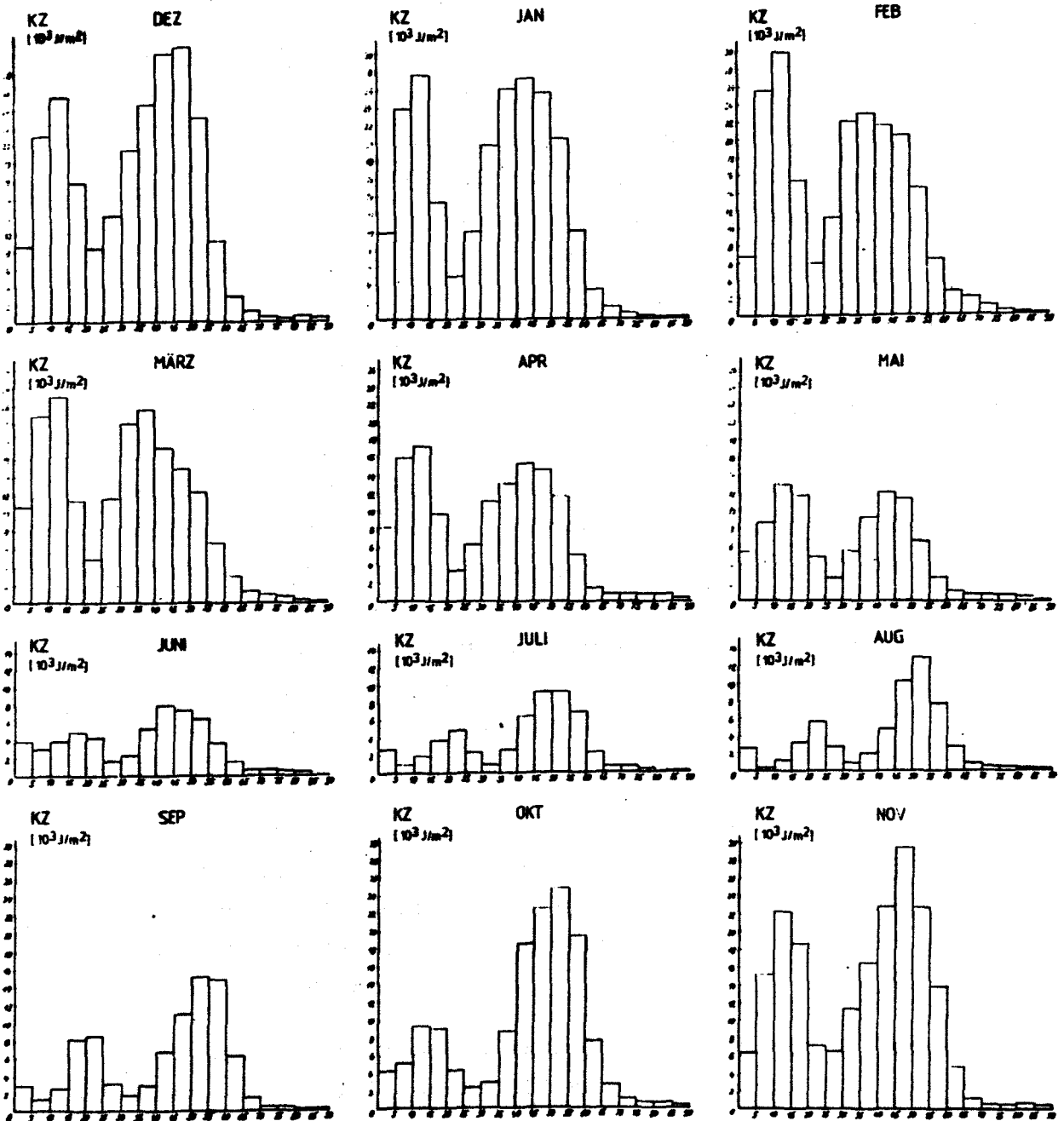
Die zonale kinetische Energie, welche aus dem Nordostpassat resultiert, hat im Winter ihre größten Werte (Februar: $30 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$), um dann zum Sommer hin kontinuierlich abzunehmen (Juni: $5 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$)

Schon im Spätsommer ist ein Wiederanstieg der kinetischen Energie zu erkennen, der sich im Herbst kontinuierlich fortsetzt, bis wieder winterliche Spitzenwerte erreicht werden. Gleichzeitig mit dieser Intensitätsschwankung geht eine Verlagerung des Schwerpunktes einher: Während er im Winter und Frühling stets im Breitenintervall zwischen 10° und 15°N anzutreffen ist, rückt er im Juli, August und September um 10 Breitengrade weiter nach Norden (20 bis 25°N), um ebenso rasch (ab Oktober) wieder zu seiner südlichen Lage hin rückläufig zu werden.

Von Juni bis September ist das Übergreifen des Südostpassates auf die Nordhalbkugel in diesen Bildern dadurch zu erkennen,

Abb.23. Planetarische Grenzschicht (1000 bis 800 mb):

Variation der Menge von K_z mit der geographischen Breite (5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres in Einheiten von 10^3 Joule/m^2 .



daß die K_z -Werte nicht mehr zum Äquator hin abfallen, sondern hier mit etwa $3 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$ deutlich größer sind als am meteorologischen Äquator (etwa 1 m/s in $5^\circ - 10^\circ\text{N}$). Die stärksten Westwinde oder K_z -Mengen treten in dieser Schicht im Winter auf (K_z im Dezember $30 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$). Sie nehmen während des Frühjahrs ab, um im Juni und Juli das Minimum zu erreichen ($8 \cdot 10^3 \text{ J/m}^2$). Eine wesentliche Verlagerung der Zone stärkster Energie mit der geogr. Breite ist im Jahresverlauf aus diesen Darstellungen nicht ersichtlich.

5.3.3. Mittlere Troposphäre (800 bis 400 mb)

Im Vergleich zur planetarischen Grenzschicht hat sich in der mittleren Troposphäre bei nach oben zunehmender Stärke der Westwinddrift sowohl die Intensität als auch die Struktur der Verteilung von K_z erheblich geändert (siehe die Abb. 24). Die maximalen Mengen von K_z liegen zwischen $11 \cdot 10^4$ und $53 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ und werden nur noch von jenen im darüber sich befindlichen Strahlstrombereich übertroffen. Die klare Doppelstruktur innerhalb der Planetarischen Grenzschicht ist durch ein beherrschendes Maximum über etwa 30° bis 40°N abgelöst.

Dieses Maximum wird hauptsächlich durch den Subtropenstrahlstrom verursacht, dessen Kernbereich jedoch oberhalb der 400 mb-Fläche anzutreffen ist, sich aber schon in dieser Schicht durch zunehmend starke Westwinde für die kinetische Zonalenergie auswirkt.

In allen drei Wintermonaten erreicht K_z zwischen 30° und 35°N mit etwa $52 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ seinen größten Wert, um im Frühjahr bei leichter Nordverlagerung kontinuierlich abzunehmen (Mai: $27 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ zwischen 35° und 40°N), einer Tendenz, die im Sommer ihr Ende findet (Juli: $11,5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ zwischen 40° und 45°N). Im weiteren Jahresverlauf kehrt sich die Intensitätsänderung um (Zunahme von K_z im August auf $12 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$, im Oktober auf $29 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$), während die Breitenlage des Spitzenwertes von K_z erst ab Oktober wieder rückläufig wird, nachdem

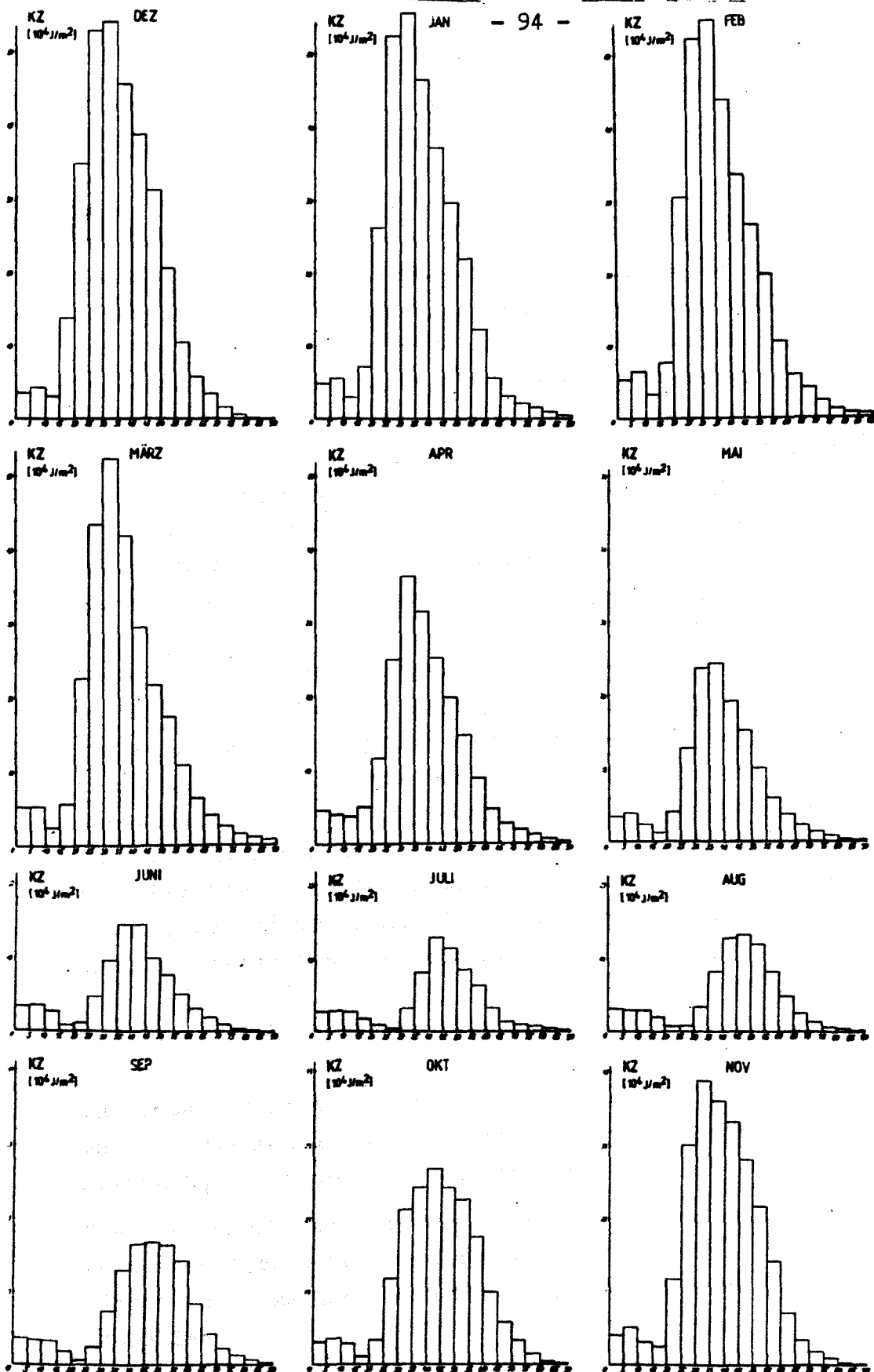


Abb.24. Mittlere Troposphäre (800 bis 400 mb): Variation der Menge von K_z mit der geographischen Breite (5 Breiten-gradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres in Einheiten von 10^4 Joule/ m^2 .

das Maximum von K_z im September zwischen 45° und 50°N am weitesten nördlich gelegen war.

In allen Einzeldarstellungen der Abb. 24 fällt auf, daß sich der Anstieg von Süden her zum Maximum der zonalen kinetischen Energie hin in einem schmalen Intervall von meist nur 10 bis 20 Breitengraden rasch vollzieht, während der Abfall nördlich des Maximums langsamer erfolgt und sich auch über die gesamten gemäßigten und subpolaren Breiten hinweg verteilt.

Jedoch ist in diesem Abfall deutlich ein unstetiger Bruch feststellbar und die K_z -Mengen werden nördlich davon recht klein. Der Grund für diese Gesetzmäßigkeit ist das Auftreten des Polarjets, welcher in den mittleren Schnitten des Zonalwindes nicht allzu deutlich erkennbar ist und dessen Einflußbereich genau dieses Gebiet betrifft.

Gegenüber dem eben abgehandelten westwinderzeugten Energieschwerpunkt bleibt der Betrag von K_z im tropischen Bereich in der mittleren Troposphäre das ganze Jahr über recht gering. Er resultiert aus den oberhalb des Passats herrschenden relativ schwachen Ostwinden und ist zudem das ganze Jahr über ziemlich konstant ($3 \text{ bis } 5 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$). Im Grenzbereich zwischen West- und Ostwinddrift ist die K_z -Menge am geringsten, aber auf Grund des durchgeführten Mittelungs- und Integrationsverfahrens wird sie nie gänzlich Null.

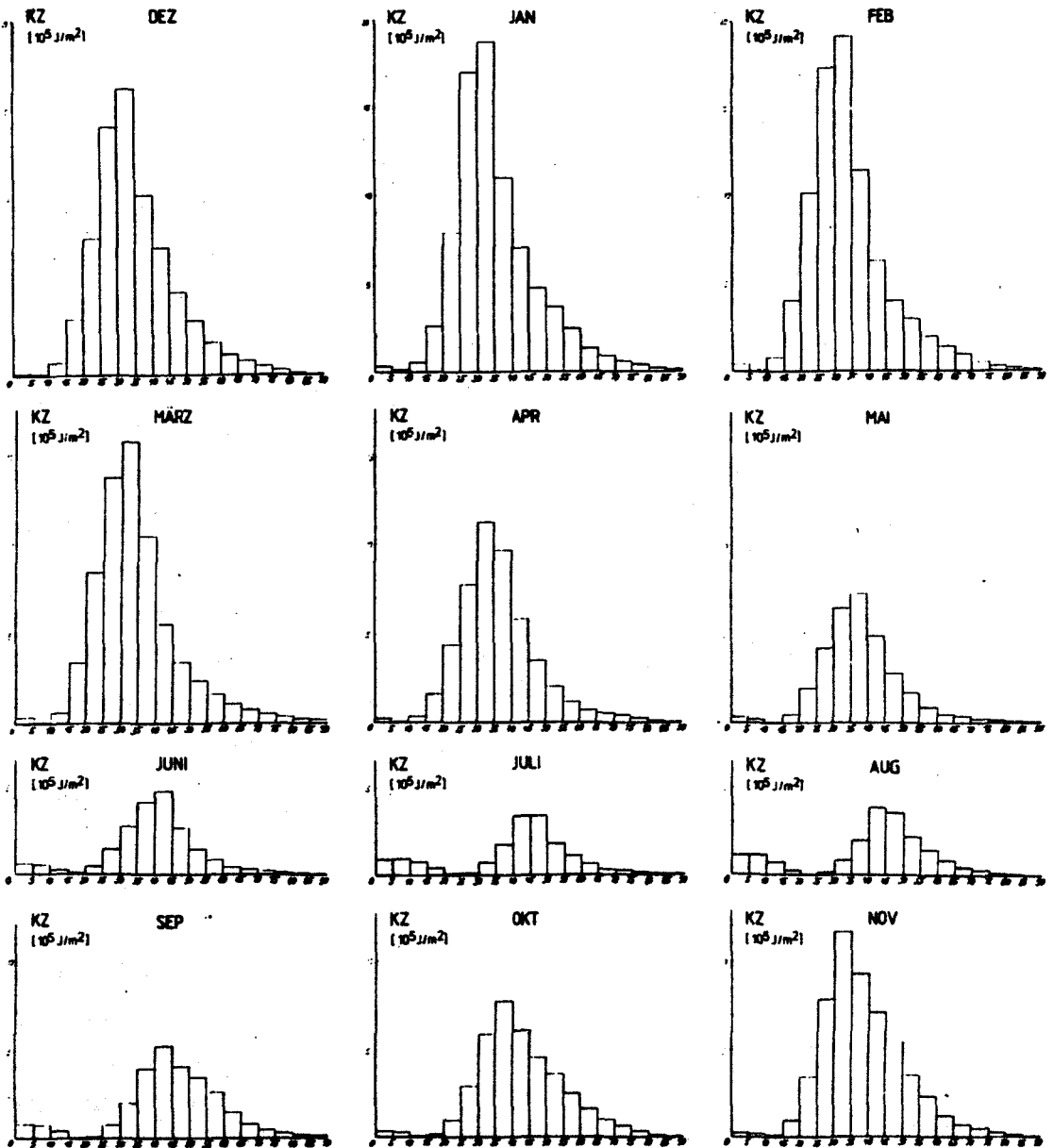
5.3.4. Obere Troposphäre (400 bis 140 mb), (Strahlstrombereich)

In dieser Schicht ist die zonale Westwinddrift am intensivsten und im Zusammenhang mit dem Kern des Subtropenstrahlstroms erreicht K_z seine absolut höchsten Beträge.

Die Breitenabhängigkeit von K_z entspricht in dieser Schicht weitgehend jener in der mittleren Troposphäre. Um Wiederholungen zu vermeiden, kann daher die Diskussion hier sehr knapp ausfallen.

Die Intensität von K_z nimmt im Lauf des Winters im Kern des planetarischen Wirbels von $16 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ auf $19 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ noch

Abb.25. Obere Troposphäre (Jet-Niveau, 400 bis 140 mb):
Variation der Menge von K_Z mit der geographischen Breite
(5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres
in Einheiten von 10^5 Joule/m^2 .



etwas zu, was durch ein weiteres leichtes Anwachsen der troposphärischen Temperaturgegensätze zwischen Pol und Äquator als volle Auswirkung der jetzt bereits wieder geringer werdenden Strahlungsgegensätze erklärbar ist. Sie nimmt damit 3 bis 4 mal größere Werte an als im vergleichbaren Zeitraum in der mittleren Troposphäre. Wie dort ist auch in dieser Schicht in den Monatseinzeldarstellungen (siehe die Abb. 25) eine stetige Abnahme der Stärke des planetarischen Wirbels bis zum Juli zu erkennen ($3,5 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$). Der Faktor drei im Vergleich zur mittleren Troposphäre bleibt im Ablauf des Jahres erhalten. Nachdem in den drei Sommermonaten deutlich die geringsten Energiebeträge auftreten, ist der herbstliche Wiederanstieg von K_z ebenso deutlich wie in der mittleren Troposphäre. Die K_z -Mengen, verursacht durch tropische Ostwinde, bleiben mit Ausnahme der Monate Juni bis September immer mindestens eine Zehnerpotenz kleiner als die westwind-erzeugten Energiemengen. In den Sommermonaten ist ihr Anteil an der Gesamtenergie für ihre Spitzenwerte nahe $1 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$ aber nicht mehr vernachlässigbar. Über das genaue Verhältnis zwischen west- und ostwinderzeugtem K_z gibt für alle Schichten ein eigenes Kapitel (siehe Kap. 5.2.) dieser Arbeit Auskunft.

5.3.5. Unterer Teil der unteren Stratosphäre (140 bis 50 mb)

In dieser Schicht, die direkt oberhalb des Jetniveaus beginnt und aufwärts bis 50 mb reicht, nehmen neben der starken Abnahme der K_z -Werte im Vergleich zum Jetniveau zwei weitere markante Windscheinungen einen noch nicht zu starken Einfluß, welche dann erst im oberen Teil der unteren Stratosphäre eine dominierende Rollen spielen werden: einmal ist dies der winterliche Polare Nachtjet und die sommerliche stratosphärische Ostwindzirkulation, welche im Sommer in allen Breiten in Erscheinung tritt. Sie bewirken, daß sich die K_z -Verteilungen saisonal derart unterscheiden, daß keine ganz kurze Schilderung der Gegebenheiten mehr möglich ist.

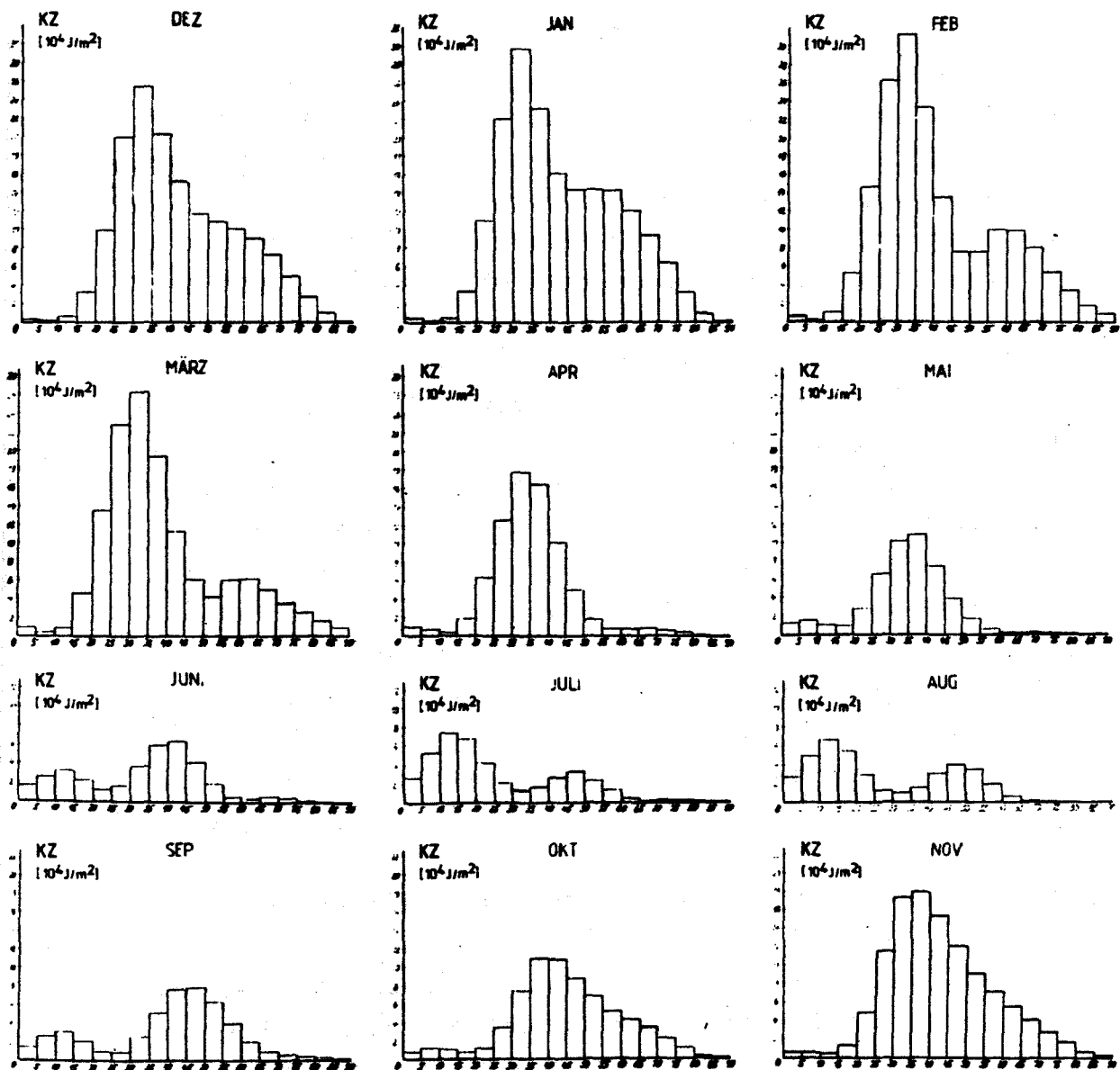


Abb.26. Unterer Teil der unteren Stratosphäre (140 bis 50 mb): Variation der Menge von K_Z mit der geographischen Breite (5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres in Einheiten von 10^4 Joule/m^2 .

Das in allen tiefer gelegenen Schichten vorhandene K_z -Maximum verursacht durch die Starkwinde im Bereich des Subtropenjets, erreicht immer noch winterliche Werte um $30 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$, aber es wird zu den Sommermonaten hin in dieser Schicht durch die im April/Mai einsetzende obere Ostwindzirkulation derart geschwächt, daß es in den Sommermonaten Juli und August mit knapp $4 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ über $45^\circ - 50^\circ \text{N}$ nicht mehr die dominierende Rolle spielt und von den K_z -Mengen verursacht durch Ostwinde über 10° bis 15°N übertroffen wird ($7 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$).

Deutlich ist im Winter eine verzögerte Abnahme von K_z nach Norden in den Monaten November bis März, verursacht durch die beginnende Einflußnahme des Polaren Nachtjets, feststellbar. Dieser Einfluß bewirkt im Januar im Bereich zwischen 45° und 60°N konstante K_z -Werte von $15 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ und im Februar und März tritt sogar ein eigenes Maximum nahe 60°N in Erscheinung. Von Mai bis August sind die K_z -Werte nördlich von 60°N so gering, daß sie bei diesem Zeichenmaßstab nicht mehr genau darzustellen sind. Dies trifft auch für den äquatorialen Bereich im Winter zu.

5.3.6. Oberer Teil der unteren Stratosphäre (50 bis 10 mb)

In dieser höchsten Schicht der Atmosphäre kommt die Einflußnahme des energiereichen winterlichen Polaren Nachtjets und der stratosphärischen Ostwindzirkulation auf die K_z -Verteilung in vollem Maße zum Tragen. Bei gleichzeitig anwachsender Stärke vom tropischen Bereich her im Winter und nachfolgende Ausweitung bis in mittlere und nördlichere Breiten kommt der Ostwinddrift im Sommer allein bestimmendes Gewicht zu.

Dagegen spielt die in allen tieferen Schichten dominierende kräftige Westwindzirkulation über den gemäßigten Breiten keine Rolle mehr, sondern nur die winterliche stratosphärische Westwinddrift während der Polaren Nacht.

In den Wintermonaten nehmen die Stärke der über dem Äquator herrschenden Ostwinde bis 20°N hin völlig ab. Die durch sie verursachte maximale Energie K_z beträgt im Februar nur etwa

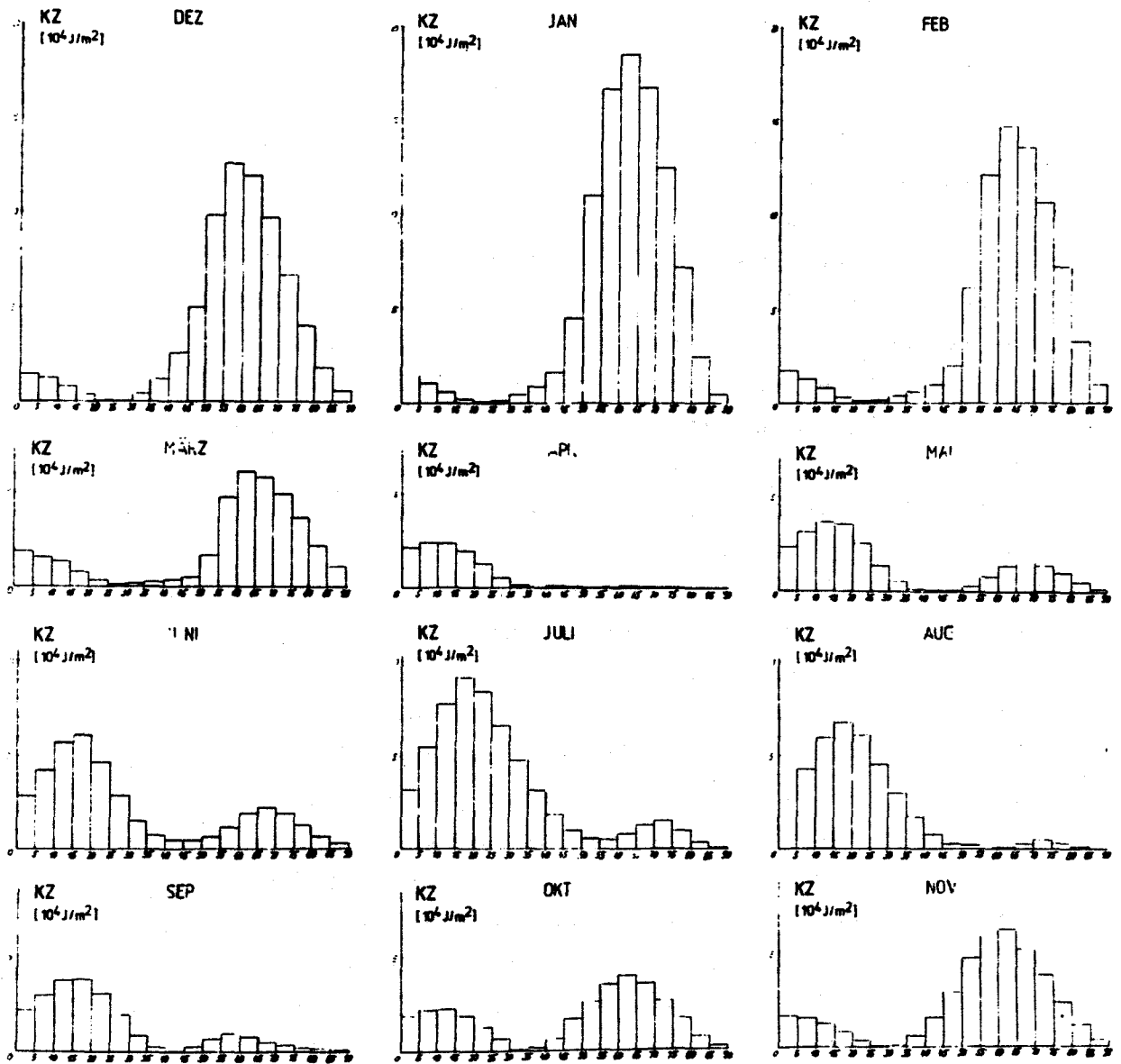


Abb.27. Oberer Teil der unteren Stratosphäre (50 bis 10 mb) :
Variation der Menge von K_Z mit der geographischen Breite
(5 Breitengradzonen) und für alle 12 Monate des Jahres
in Einheiten von 10^4 Joule/m^2 .

$1.8 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$. Das Frühjahr bringt einen Anstieg dieser K_z -Mengen (bis $3.4 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ über 10° bis 15°N und bei gleichzeitiger Ausdehnung ihrer Einflußnahme bis 40°N im Mai). Diese Entwicklung findet im zentralen Sommer ihren Abschluß, da im Juli das breite K_z -Maximum, das zwischen 10° und 15°N mehr als $9 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ erreicht, bis zum Pol seine Existenz den sommerlichen Ostwinden verdankt. Der Herbst schließt den Jahreskreislauf, indem er mit einer Schwächung der Intensität und des Ausdehnungsbereiches der Ostwinde zum winterlichen Zustand überleitet. In den Wintermonaten ist die zonale kinetische Energie (Polarer Nachtjet) im Januar und Februar mehr als doppelt so groß wie der Energieinhalt der sommerlichen Ostwinde. Im Januar wird in diesem Teil der Stratosphäre die kinetische Energie der gesamten Hemisphäre nördlich von 30°N von Westwinden erzeugt, wobei wieder Westwindanteile oberhalb des Subtropenstrahlstromes etwas zur gesamten K_z -Menge beitragen. Verglichen mit den Beiträgen vom Polaren Nachtstrahlstrom ($19 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ über 60° bis 65°N), bleiben die Ersteren gering.

Besonders deutlich wird der Übergang von West- in Ostwindzirkulation im April (siehe Abb. 27), denn für diesen Monat sind nur verschwindend kleine K_z -Mengen im gesamten Bereich zwischen 35 und 90°N feststellbar. Der gegensätzliche Übergang im Herbst erfolgt zwischen August und September.

Tabelle 7 : Integralwerte von K_z für einzelne Breitenintervalle von 5° Breite und für unterschiedliche Stockwerke der Atmosphäre pro Flächen-einheit 10^3 Joule pro m^2

	0/5	5/10	10/15	15/20	20/25	25/30	30/35	35/40	40/45	45/50	50/55	55/60	60/65	65/70	70/75	75/80	80/85	85/90
Dezember																		
1000/800 mb 8.6	21.0	25.4	15.7	8.3	12.0	14.4	24.6	30.1	30.9	23.1	4.1	2.9	1.2	.5	.4	.4	.4	.4
800/400 mb 3.6	41.5	30.7	137.6	348.4	529.2	540.8	455.9	388.2	313.2	205.9	103.1	57.1	33.0	15.9	6.4	1.0	.2	.2
400/140 mb 2.0	6.3	73.2	317.1	764.4	1348.6	1822.0	1076.0	717.6	467.6	306.4	178.9	117.0	79.8	47.7	22.8	4.7	1.5	1.5
140/50 mb 3.6	2.4	6.4	35.2	97.4	143.2	253.6	212.7	150.7	117.4	108.4	101.5	40.3	72.4	50.1	28.4	10.6	2.5	2.5
50/10 mb 14.4	12.3	8.4	4.1	1.0	.7	4.2	12.3	25.1	49.7	96.5	125.5	119.4	97.3	67.1	40.1	18.3	5.8	5.8
Σ 75.7	83.9	144.8	509.7	1225.0	2133.0	2440.0	1781.0	1312.0	978.8	740.3	518.0	386.7	284.3	181.3	98.3	37.2	10.4	10.4
Januar																		
1000/800 mb 9.9	23.9	27.7	13.4	4.9	10.1	14.8	26.2	27.3	25.7	20.5	10.1	4.3	1.3	.7	.4	.2	.2	.2
800/400 mb 4.4	58.6	44.4	71.8	263.5	525.3	555.8	463.6	372.3	295.8	218.8	120.8	54.2	29.0	18.0	12.4	7.0	2.9	2.9
400/140 mb 2.4	8.5	44.1	260.5	784.4	1706.0	1880.0	1095.0	644.1	471.0	363.1	235.9	130.6	79.5	53.0	34.4	18.8	7.9	7.9
140/50 mb 5.5	3.0	5.8	34.6	110.5	222.1	288.0	232.8	162.2	143.6	143.9	142.3	122.5	94.7	64.4	32.7	10.3	1.7	1.7
50/10 mb 14.3	10.4	6.0	2.3	.8	1.8	4.3	8.0	15.9	44.4	110.3	147.6	186.1	168.0	124.9	71.7	25.3	4.5	4.5
Σ 103.0	104.4	117.4	382.6	1164.0	2445.0	2748.0	1826.0	1272.0	981.0	856.5	676.8	496.6	372.5	261.1	152.1	61.7	17.3	17.3
Februar																		
1000/800 mb 6.7	25.6	24.4	15.4	5.9	11.1	22.2	23.0	21.6	20.5	14.5	6.4	2.6	2.0	1.1	.6	.3	.3	.3
800/400 mb 5.3	65.1	32.6	78.2	306.3	522.8	548.3	438.6	336.4	268.0	198.3	104.7	54.2	41.4	23.0	11.4	7.1	5.6	5.6
400/140 mb 3.5	12.0	74.4	403.8	1023.0	1733.6	1911.0	1132.0	624.0	394.7	289.6	144.1	137.9	95.0	55.3	31.8	21.3	14.8	14.8
140/50 mb 7.2	2.7	10.5	53.1	116.5	263.2	313.9	234.0	135.0	75.5	76.2	100.2	49.8	80.0	52.8	33.1	14.0	4.5	4.5
50/10 mb 14.4	12.4	7.6	3.4	1.2	1.6	3.3	5.5	9.1	14.6	61.0	120.5	144.4	134.9	105.4	71.5	34.1	9.4	9.4
Σ 120.8	117.4	155.6	553.4	1483.0	2532.0	2748.0	1833.0	1120.0	779.4	634.7	525.4	445.4	353.4	238.1	148.3	74.8	40.0	40.0

Tabulle 8: Integralwerte von K_z für einzelne Breitenintervalle von 5° Breite und für unterschiedliche Stockwerke der Atmosphäre pro Flächen-einheit 10^3 Joule pro m^2

		0/5	5/10	10/15	15/20	20/25	25/30	30/35	35/40	40/45	45/50	50/55	55/60	60/65	65/70	70/75	75/80	80/85	85/90
		März																	
1000/800 mb	10.6	21.7	22.4	11.3	4.8	11.5	14.8	21.5	17.1	17.1	17.7	12.2	6.6	2.9	1.2	.8	.7	.4	.2
800/400 mb	52.4	53.6	25.7	56.6	225.4	137.4	521.8	111.5	279.5	216.4	172.5	108.3	63.2	39.7	25.1	17.2	11.3	7.1	
400/140 mb	32.4	10.6	61.4	341.4	846.5	1374.	1584.	1051.	559.4	350.9	237.4	121.5	113.5	75.4	54.5	40.3	27.7	18.0	
140/50 mb	4.0	7.4	8.4	46.3	134.4	229.6	241.9	192.6	112.1	60.3	42.0	61.3	62.0	50.0	36.5	25.1	15.7	9.0	
50/10 mb	19.1	17.1	13.3	4.0	3.4	1.3	1.5	2.4	3.6	5.6	16.7	47.6	61.4	58.5	49.6	36.9	21.9	10.5	
Σ	124.1	106.9	131.8	455.4	1215.	2056.	2384.	1640.	407.2	647.9	480.8	395.2	303.0	224.8	146.5	120.1	77.0	44.8	
		April																	
1000/800 mb	8.1	15.4	17.2	4.7	3.4	6.3	11.1	13.1	15.3	14.6	11.7	5.2	1.5	.8	.4	.4	.4	.4	.3
800/400 mb	45.7	40.4	18.4	30.1	116.3	264.6	367.4	815.0	252.2	184.7	147.2	88.5	47.3	28.1	19.3	12.2	6.0	2.4	
400/140 mb	22.3	9.0	25.4	165.5	434.5	775.5	1121.	185.5	576.6	351.4	205.6	115.4	72.8	49.6	38.1	24.4	12.4	5.5	
140/50 mb	9.4	7.4	5.3	14.7	63.5	124.7	176.8	163.1	99.8	49.4	18.6	6.7	6.4	7.0	5.9	3.8	2.2	1.0	
50/10 mb	20.8	23.4	23.5	14.4	12.3	5.4	1.6	.4	1.3	1.0	.3	.4	1.0	.8	.5	.4	.3	.1	
Σ	106.3	96.6	90.3	244.5	529.4	1182.	1677.	1454.	445.1	606.5	383.4	216.9	129.0	86.3	64.4	41.8	21.6	4.8	
		Mai																	
1000/800 mb	5.4	8.7	13.0	11.7	4.4	2.6	5.5	4.3	12.2	11.5	6.7	2.6	1.0	.7	.7	.9	.5	.2	
800/400 mb	34.8	23.5	11.7	40.9	124.3	236.3	242.5	141.0	150.7	100.4	58.8	35.4	22.7	13.3	6.5	3.4	1.7		
400/140 mb	36.6	23.2	4.4	47.1	145.3	241.3	345.4	723.0	275.4	169.2	92.1	55.2	37.3	21.8	13.4	7.9	3.6		
140/50 mb	12.1	14.4	10.2	9.7	28.9	65.3	100.7	108.4	34.0	17.7	4.7	1.2	1.4	1.2	.7	.4	.3		
50/10 mb	23.7	31.1	35.4	25.3	13.1	5.2	5.2	1.5	.4	.7	2.4	13.2	15.7	13.5	9.3	4.6	1.0		
Σ	111.7	146.3	84.0	115.4	245.7	430.6	493.0	1040.	769.7	477.7	245.4	145.4	107.5	77.8	51.4	30.7	16.9	4.8	

Tabelle 8: Integralwerte von K_z für einzelne Breitenintervalle von 5° Breite und für unterschiedliche Stockwerke der Atmosphäre pro Flächeneinheit 10^3 Joule pro m^2

	0/5	5/10	10/15	15/20	20/25	25/30	30/35	35/40	40/45	45/50	50/55	55/60	60/65	65/70	70/75	75/80	80/85	85/90
Juni																		
1000/800 mb	3.4	2.4	3.4	4.4	4.3	1.5	2.1	5.3	7.4	7.4	6.3	3.7	1.6	.5	.6	.5	.4	.1
800/400 mb	34.2	35.6	27.7	9.6	12.4	47.7	40.3	144.6	144.4	100.1	77.3	51.2	31.4	18.5	4.5	4.0	2.3	1.1
400/140 mb	54.7	56.2	25.0	5.6	48.2	148.9	272.6	416.6	467.2	268.8	150.3	81.4	34.0	25.4	17.5	8.4	5.7	2.5
140/50 mb	16.5	26.4	33.0	23.7	13.0	17.8	37.3	54.4	63.3	41.5	14.8	5.4	3.3	5.3	3.8	1.7	.6	.3
50/10 mb	27.4	42.2	56.7	60.6	16.5	28.2	14.7	7.4	4.5	4.4	6.4	11.4	18.5	22.1	18.5	12.2	6.2	2.4
Σ	146.7	163.3	146.3	104.4	124.4	244.1	422.4	633.2	687.2	422.2	260.0	153.0	44.3	71.8	44.4	27.0	15.2	6.4
Juli																		
1000/800 mb	2.7	.4	1.8	3.7	4.8	2.3	.9	2.6	6.4	4.2	9.2	6.8	2.2	.6	.6	.3	.1	.1
800/400 mb	26.4	24.3	27.0	14.2	8.4	5.0	32.1	80.2	128.0	112.4	83.9	62.2	32.0	12.8	10.1	7.1	4.4	2.2
400/140 mb	84.5	94.2	75.7	34.7	7.6	13.2	73.4	174.7	332.8	335.6	180.9	104.8	57.2	24.8	18.3	13.2	4.0	4.6
140/50 mb	26.5	51.6	72.8	67.5	40.7	20.3	12.3	14.9	25.6	32.0	21.4	12.2	4.4	1.8	2.5	1.5	.6	.3
50/10 mb	31.7	54.5	77.4	91.8	84.1	66.0	47.4	31.7	18.8	10.0	5.6	5.2	8.0	13.7	15.6	10.2	3.7	.4
Σ	176.8	224.5	255.2	222.0	146.1	106.6	166.0	304.1	511.6	444.7	301.6	145.2	103.8	53.6	47.0	32.3	17.4	8.1
August																		
1000/800 mb	2.5	.4	1.2	3.2	5.5	2.7	.8	1.9	4.7	10.2	12.9	7.6	2.6	.7	.5	.4	.3	.1
800/400 mb	24.2	28.2	24.2	18.7	6.5	7.2	32.7	81.1	127.0	132.4	118.4	80.0	46.4	24.5	11.6	5.5	3.0	1.4
400/140 mb	64.7	110.1	75.1	27.5	3.2	21.4	74.2	200.8	386.8	348.8	241.6	146.7	78.5	41.6	23.3	12.8	7.1	4.2
140/50 mb	26.7	48.5	66.4	55.4	24.3	12.6	7.4	16.3	30.3	34.4	33.0	18.2	6.0	1.5	.6	.4	.3	.2
50/10 mb	26.6	42.6	54.1	67.6	60.6	45.1	24.4	16.8	7.6	2.6	1.0	1.0	2.4	4.5	5.1	3.5	1.5	.4
Σ	141.7	224.4	224.4	172.5	105.2	84.4	152.0	317.0	556.4	533.4	407.4	253.6	136.4	72.8	41.1	22.6	12.3	6.6

Tabelle 8: Integralwerte von k_T für einzelne Breitenintervalle von 5° Breite und für unterschiedliche Stockwerke der Atmosphäre pro Flächen-einheit $10^3 \text{ Joule pro m}^2$

	0/5	5/10	10/15	15/20	20/25	25/30	30/35	35/40	40/45	45/50	50/55	55/60	60/65	65/70	70/75	75/80	80/85	85/90
1000/800 mb	2.4	1.4	2.5	8.1	6.5	3.1	1.6	2.9	4.7	11.9	15.1	14.8	6.2	1.4	.5	.4	.2	.1
800/400 mb	35.1	33.9	32.5	14.5	6.8	24.4	129.9	129.4	165.1	167.6	163.9	142.3	83.4	41.4	20.4	12.4	6.2	2.4
400/140 mb	80.8	74.5	39.3	6.1	13.2	78.1	200.4	398.6	523.4	412.9	334.7	246.2	137.2	74.1	34.2	24.4	14.2	7.0
140/50 mb	14.5	25.9	32.0	22.5	10.0	4.5	25.3	50.4	76.1	78.0	61.4	38.7	18.6	8.6	5.2	3.5	2.2	1.2
50/10 mb	21.7	29.8	37.3	38.5	30.8	19.0	8.5	2.3	.5	2.4	6.3	8.3	6.7	4.3	2.7	1.7	1.0	.5
Σ	156.0	165.6	143.7	94.7	69.3	134.5	308.9	584.6	772.3	672.7	581.4	450.4	252.6	129.9	67.4	43.2	23.8	11.5
September																		
1000/800 mb	4.2	5.1	4.3	4.1	4.3	2.3	2.4	8.7	18.5	22.6	24.8	19.5	7.7	2.6	1.0	.6	.4	.3
800/400 mb	31.3	35.4	28.2	10.3	33.2	117.7	212.0	242.3	267.4	241.9	224.6	173.6	97.5	55.4	32.0	14.1	4.2	1.2
400/140 mb	31.4	27.9	7.9	15.0	100.3	242.1	580.9	773.0	603.7	457.4	364.1	251.4	155.8	98.3	60.2	30.8	10.5	4.1
140/50 mb	7.8	11.7	11.4	7.4	12.0	34.4	73.3	108.4	107.1	86.8	66.2	44.9	41.2	32.9	21.8	11.4	3.4	1.5
50/10 mb	16.3	21.2	22.0	18.6	12.4	5.1	.8	1.4	7.2	16.3	25.4	34.5	38.7	34.7	25.7	16.3	4.6	2.0
Σ	93.0	101.2	78.3	60.4	162.3	451.5	864.9	1134.	1004.	825.0	705.5	528.9	340.4	224.4	140.7	73.2	25.8	9.1
Oktober																		
November																		
1000/800 mb	6.4	15.2	22.3	18.7	7.2	6.5	11.4	16.5	23.0	29.5	22.9	13.4	4.8	1.2	.6	.4	.7	.6
800/400 mb	40.2	51.4	32.3	25.0	117.3	302.1	387.9	360.9	333.1	291.9	217.3	142.3	71.1	33.5	19.2	4.1	3.2	.6
400/140 mb	17.5	13.5	4.4	96.7	346.4	778.1	1154.	923.5	707.8	536.3	352.0	223.8	123.3	71.5	47.4	25.6	10.8	3.4
140/50 mb	4.4	5.3	4.2	14.1	48.8	115.7	173.3	179.2	154.2	120.1	41.2	71.6	55.3	40.8	28.2	16.5	7.3	2.4
50/10 mb	16.6	15.4	12.4	8.4	3.7	.7	1.2	0.1	15.5	29.4	46.4	59.4	62.1	52.3	37.5	23.5	11.6	3.4
Σ	85.5	101.3	81.1	162.4	523.4	1203.	1733.	1446.	1233.	1007.	729.4	511.0	316.6	199.2	132.8	75.4	33.7	11.1

5.4. JAHRESGANG DER MENGE VON K_z INNERHALB DER DREI HAUPT-LUFTMASSENBEREICHE (POLARLUFTBEREICH (PL), BEREICH DER GEMÄSSIGTEN LUFT (ML), TROPIKLUFTEBEREICH (TL)) DER TROPOSPHÄRE DER NORDHALBKUGEL

Die durch Strahlungseinflüsse bedingten Temperaturgegensätze in der Atmosphäre haben kein gleichmäßiges Gefälle zwischen Äquator und Nordpol, sondern weisen stets, wenn auch von sehr unterschiedlicher Breitenlage und Stärke, zwei frontale Diskontinuitäten (Polar- und Subtropenfront) auf, welche drei grundsätzlich voneinander verschiedene Luftmassen trennen. Diese Luftkörper sind nach ihrem Ursprungsgebiet benannt und besitzen charakteristische Eigenschaften wie Temperatur und Feuchte. Es sind dies die tropische Luftmasse, die Luftmasse der gemäßigten Breiten und die Polarluft. Ihr jeweiliger Ausdehnungsgrad läßt sich an der von Tag zu Tag variablen Breitenlage der oben erwähnten Diskontinuitäten, der Subtropen- bzw. Polarfront, erkennen, in deren Einflußbereich meist markante synoptische Wettererscheinungen auftreten.

Dieser letzte Abschnitt der Arbeit beschäftigt sich mit dem zonalen kinetischen Energiegehalt innerhalb dieser drei Luftkörper, deren Ausdehnung in der Horizontalen durch eine der Fronten, in der Vertikalen durch die Höhenlage der Tropopause gegeben ist. Die Untersuchung wurde für jeden Monat des Jahres getrennt durchgeführt, wobei für die jeweilige Ausdehnung des Luftkörpers eine Tabelle von Fr. DEFANT aus dem WMO-Kompandium Synoptic Meteorology, Teil 3, zu Grundlage lag (siehe Tabelle 9).

5.4.1. Der Bereich der Tropikluft

In der Abb. 28 werden für die zonalen kinetischen Energiemengen, enthalten im tropischen Luftkörper, zwei verschiedene Bilder präsentiert, von denen das eine den absoluten Energiegehalt beschreibt, während das andere K_z als Funktion der jeweiligen Flächenausdehnung der Tropikluft beschreibt.

Es zeigt sich, daß K_z in der Tropikluft in den Wintermonaten am größten ist. Im Februar wird das Maximum mit $98,0 \cdot 10^{15}$ kj erreicht. Dieses kann trotz des geringen Einflusses, welchen die Tropikluft auf das Wettergeschehen der Nordhalbkugel ausübt, deswegen auftreten, weil der Subtropenjet, der zu dieser Zeit seine größte Intensität besitzt, mit seinen hohen Windgeschwindigkeiten weit in den Tropischen Bereich hineinwirkt. Hinzu kommt noch die relative Stärke des Nordostpassates in dieser Jahreszeit. Der steilste Abfall der zonalen kinetischen Energie der Tropikluft vollzieht sich zum April hin, wo sie gegenüber dem Vormonat nahezu halbiert wird.

Die weitere Verringerung zum sommerlichen Minimum im August hin ($19,8 \cdot 10^{15}$ kj) verläuft dann recht gleichförmig, ebenso der nachfolgende Wiederanstieg mit der saisonal zum Herbst zunehmenden Zirkulation, bis im Dezember wieder fast eine Verdoppelung der K_z -Menge im Vergleich zum November eintritt ($82,3 \cdot 10^{15}$ kj). Der Gesamtbetrag von K_z in der Tropikluft beträgt

$$K_z = 620 \cdot 10^{15} \text{ kj}$$

entsprechend 41,5 % der Gesamtenergie in der Troposphäre, wovon mit $K_z = 351,9 \cdot 10^{15}$ kj 56,7 % auf die Wintermonate Dezember bis März entfallen.

5.4.2. Der Bereich der gemäßigten Luftmasse der mittleren Breiten

Die gemäßigte Luftmasse nimmt mit Ausnahme der Sommermonate, wo sie die Ausdehnung der Polarluft knapp übertrifft, immer einen kleineren Raum ein als die Tropik- bzw. Polarluft. Ein Vergleich mit der kinetischen Energie in der Tropikluft zeigt, daß sich die Jahresgänge beider grob gesehen ähneln, der Energiegehalt der gemäßigten Luft aber nur etwa halb so groß ist (im Januar hier $50,3$, während er in der Tropikluft $91,6 \cdot 10^{15}$ kj beträgt), im Sommer sogar noch erheblich geringer (im Juli $6,6$ statt $26,9 \cdot 10^{15}$ kj in der Tropikluft). In dieser Luftmasse erfolgt der steilste Abfall von hohen winterlichen

Werten erst zum Mai hin, wo eine Reduzierung von $35 \cdot 10^{15}$ kj im April auf $14,9 \cdot 10^{15}$ kj im Mai stattfindet. Die untere und die obere Darstellung in Abb. 28 ähneln sich für die gemäßigte Luftmasse stark, da die jahreszeitliche Variation der Ausdehnung dieser Luftmasse von allen drei Luftmassen am geringsten ist. Alle zwölf Monate zusammengefaßt erhält man für die gemäßigte Luftmasse einen Energiebetrag von

$$K_Z = 370,9 \cdot 10^{15} \text{ kj.}$$

Dies sind 58,9 % der Menge von K_Z in der Tropikluft. Ein Vergleich mit der Gesamtmenge, enthalten in der Troposphäre, ergibt einen Anteil von 26,9 %. Hierbei muß aber berücksichtigt werden, daß in dem Gesamtwert für die Troposphäre, welcher $1377,8 \cdot 10^{15}$ kj beträgt, auch die zonale kinetische Energie, enthalten in beiden Frontalzonen, mitsummiert ist, deren räumliche Ausdehnung zusammen zwar meist weniger als 10 Breitengrade ausmacht, in deren Bereich aber recht hohe kinetische Energien auftreten.

5.4.3. Der Polarluftbereich

Da wegen der besseren Vergleichbarkeit mit den Mengen, enthalten in den beiden vorstehend beschriebenen Luftmassenbereichen, auch für die Darstellung der Polarluft der gleiche Maßstab gewählt wurde, die K_Z -Werte in dieser Luftmasse aber ganz erheblich unter jenen der anderen Luftkörper bleiben, bleiben die einzelnen Monatswerte vor allem im Sommer dermaßen klein, daß aus ihnen keine gute quantitative Aussage mehr gemacht werden kann. Qualitativ ist wieder ein Jahresgang zu erkennen, der im Sommer die niedrigsten Werte, in den Übergangsjahreszeiten mäßig hohe und im Winter die höchsten Werte bringt. Die Ausdehnung der polaren Luftmasse schwankt zwischen 17 Breitengraden im Juli und 39 im Dezember und somit verändert sich diese Ausdehnung als einzige um mehr als 100 %. Zu berücksichtigen ist aber, daß wegen der Kugelform der Erde die Fläche einzelner Breitenzonen mit ihrer jeweiligen Breitenlage stark variiert und im Polgebiet am geringsten ist. Dies ist ein wesentlicher Grund für die

sehr kleinen Mengen von K_z innerhalb der Polarluft. Alle Monate zusammen enthalten in der Polarluft die Energiemenge von

$$K_z = 26,7 \cdot 10^{15} \text{ kj},$$

was nur 1,9 % der zonalen kinetischen Energie der Troposphäre ausmacht.

Mit den drei Werten für K_z , enthalten in den drei unterschiedlichen Luftmassenkörpern der Troposphäre, läßt sich eine rohe Aussage machen über den verbleibenden Anteil, der den Frontalbereichen zugerechnet werden muß. Es ist aber einschränkend zu sagen, daß dies nur eine Abschätzung sein kann und außerdem bei dieser Methode, welche die Differenz zwischen dem troposphärischen Gesamtwert und der Summe der Energie in den drei separat bestimmten Luftkörpern als zonale kinetische Energie der Fronten ausgibt, nur ein Gesamtwert für beide Fronten erhalten werden kann. Er beträgt $359,9 \cdot 10^{15} \text{ kj}$ und ist damit fast gleich groß wie die Menge von K_z , enthalten in dem gemäßigt warmen Luftkörper der mittleren Breiten.

Abb.28. Jahresgang der Menge von K_z in den drei Hauptluftmassenbereichen der Troposphäre der Nordhalbkugel.

Obere Bilder in Einheiten von 10^{19} Joule.
Untere Bilder in Einheiten von 10^5 Joule/m².

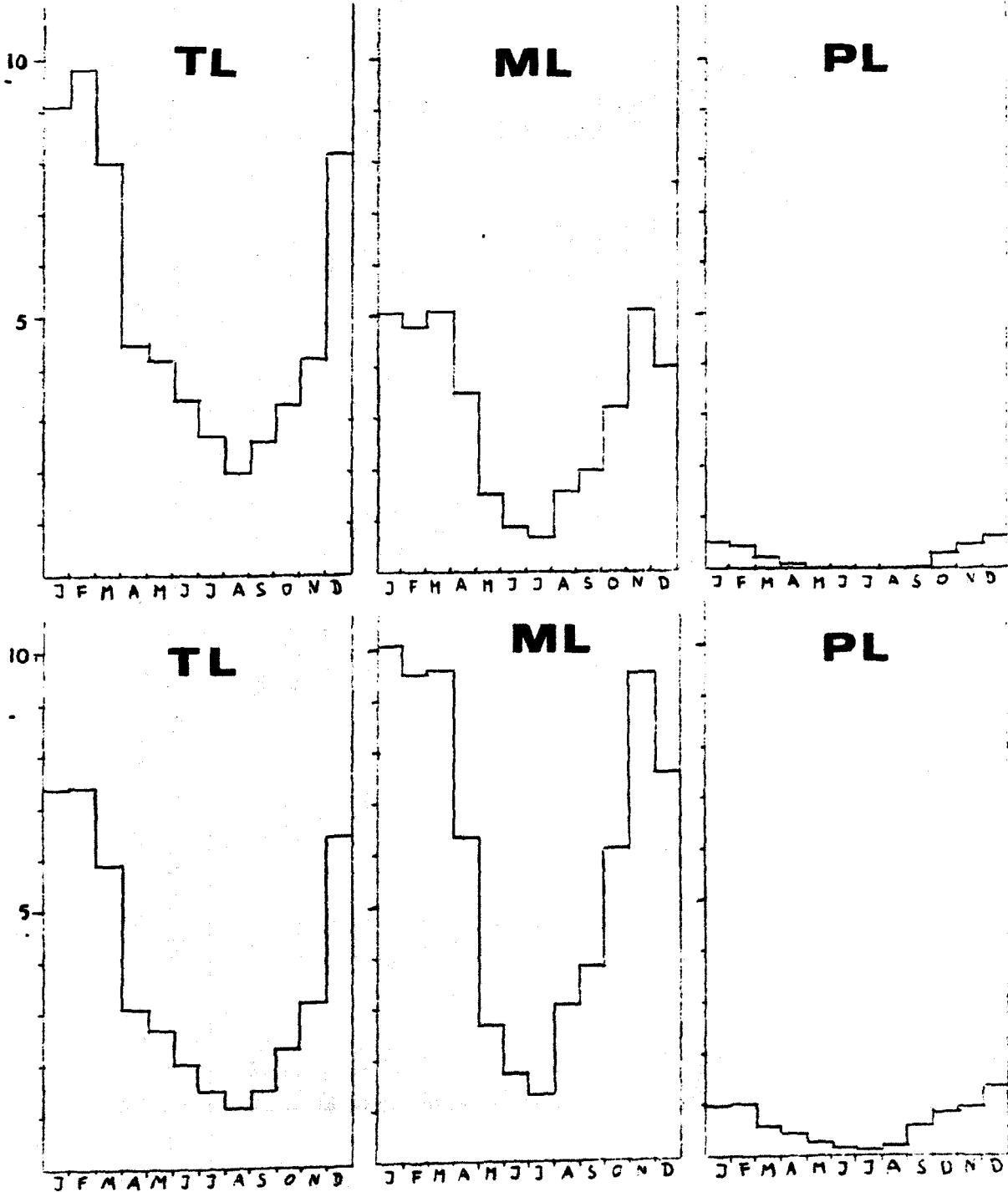


Tabelle 9 : Variation der Menge der zonalen kinetischen Energie K_Z , enthalten in den 3 Hauptluftmassen-Bereichen der Troposphäre im Jahresablauf (Summenwerte von K_Z in 10^{18} Joule sowie K_Z pro Flächeneinheit in 10^4 Joule/m²)

Monat	Polarluftbereich (PL)			Bereich der gemäßigten Luftmassen (ML)			Tropikluftbereich (TL)		
	K_Z in 10^{18} Joule	K_Z in 10^4 Joule/m ²	Gebietsaus- dehnung in 10^{14} m ²	K_Z in 10^{18} Joule	K_Z in 10^4 Joule/m ²	Gebietsaus- dehnung in 10^{14} m ²	K_Z in 10^{18} Joule	K_Z in 10^4 Joule/m ²	Gebietsaus- dehnung in 10^{14} m ²
Jan.	4,83	9,41	0,5136	50,36	100,89	0,4986	91,61	74,09	1,2364
Febr.	4,22	9,68	0,4361	48,37	94,76	0,5104	98,01	74,62	1,3134
März	2,19	5,65	0,3877	50,96	96,47	0,5283	79,96	59,15	1,3514
April	1,23	4,13	0,2986	35,01	62,77	0,5577	44,67	31,32	1,4261
Mai	0,55	2,53	0,2206	14,92	27,38	0,5453	42,13	27,45	1,5348
Juni	0,19	1,38	0,1390	8,67	16,89	0,5132	34,04	20,33	1,6732
Juli	0,11	1,47	0,0757	6,53	13,05	0,5010	26,87	15,17	1,7717
Aug.	0,24	1,96	0,1247	15,27	30,58	0,4994	19,81	11,61	1,7064
Sept.	0,76	6,08	0,2028	18,77	37,58	0,5006	25,83	15,13	1,6049
Okt.	2,41	8,09	0,2986	31,88	60,94	0,5233	33,18	22,68	1,4628
Nov.	3,71	9,04	0,4114	50,98	94,84	0,5375	42,36	32,25	1,3134
Dez.	6,24	13,54	0,4612	39,33	75,80	0,5189	82,27	64,52	1,2751

Variation der seitlichen Ausdehnung (Breitengrad) der Hauptluftmassen in der Troposphäre von Monat zu Monat nach Comp. WMO Part 3 (Tabelle nach Fr. DEFANT)

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Untersuchung, welche sich mit der zonalen kinetischen Energie K_z des Planetarischen Wirbels (zonale Grundzirkulation der Atmosphäre) beschäftigt, versucht, über diese Energieform durch Verwendung eines sorgfältig erstellten Materials von über 10 Jahre gemittelten Lufttemperaturen, aus denen geopotentielle Höhen und schließlich bis 20°N südwärts geostrophische Winde gewonnen wurden, eine möglichst erschöpfende und mengenmäßig detaillierte Auskunft zu geben. Südlich von 20°N bis zum Äquator wurden alle bisherigen Quellen ausgeschöpft, um das Windfeld durch wahre Winde zu ergänzen. Die Untersuchung behandelt alle 12 Monate des Jahres und geht also in eingehender Weise auf den Jahresgang dieser Energieform ein.

Parallel hierzu lief eine ganz analog angelegte Untersuchung, in welcher der Jahresgang der zonal verfügbaren potentiellen Energie A_z bearbeitet wurde (siehe H.G. EBBRECHT "Die verfügbare potentielle Energie des planetarischen Wirbels und ihre jährliche Variation", Diplomarbeit, Institut für Meereskunde, 1980).

Beide Arbeiten streben an, für kommende weltweite energetische Zirkulationsstudien ein gesichertes Grundlagenmaterial zur Verfügung zu stellen.

Die bis zu diesem Zeitpunkt existierenden Darstellungen von K_z und A_z , präsentiert in verschiedenen Veröffentlichungen, beruhen auf Daten, gemittelt über wesentlich kürzere Zeiträume (etwa 1 bis 3 Jahre) und beschränken sich auf jahreszeitliche K_z - und A_z -Verteilungen. Auch gibt es nur eine einzige Arbeit (NEWELL und Mitarbeiter), in welcher die vertikale Erstreckung ähnlicher Meridionalschnitte über die 100 mb-Fläche hinaus bis zur 10 mb-Fläche ausgedehnt wird. Die in der vorliegenden Untersuchung aufgezeigten Ergebnisse betreffen die folgenden wichtigen Hauptpunkte:

- (1) Die Präsentation von 12 mittleren meridionalen Schnitten von K_z separat für jeden Monat des Jahres. Diese Schnitte erstrecken sich vom Äquator bis zum Nordpol (betreffen also nur die Nordhalbkugel der Erde) und reichen in vertikaler Richtung vom Boden aufwärts bis in etwa 30 km Höhe (10 mb-Fläche).

Diese Verteilungen von K_z zeigen in allen 12 Monaten ein Maximum etwas oberhalb der 200 mb-Fläche, dessen Intensität im Sommer nur etwa ein Fünftel des Winterwertes beträgt. Die Breitenlage dieses Maximums, das durch den Subtropenstrahlstrom erzeugt wird, schwankt zwischen etwa 30°N im Winter und etwa 45°N im Sommer. Diese saisonale Breitenverschiebung von etwa 15° machen auch alle weiteren das ganze Jahr über in Erscheinung tretenden Systeme mit. Dazu gehören der Polarjet, der sich trotz des Fehlens einer eigenen abgeschlossenen Isolinie als Ausbuchtung der Isolinien etwa 25° nördlich des Subtropenjets nahe der 300 mb-Fläche in den K_z -Schnitten auswirkt, ebenso wie ein relativ schwaches durch den Nordostpassat erzeugtes K_z -Maximum und ein weiteres ostwinderzeugtes Maximum im oberen Teil der unteren Stratosphäre, welches zum Sommer hin erheblich an Intensität gewinnt und dann auch größere Energiemengen als das Subtropenjetmaximum liefert. Im Winter ist über etwa 60°N ein weiterer Energieschwerpunkt in der Stratosphäre anzutreffen, welcher in seiner Größenordnung jenen, verursacht durch die beiden anderen Jets, nahekommmt. Er wird erzeugt durch den Polaren Nachtjet, dessen Entstehungsgrundlage die völlige Strahlungsausblendung des Polargebietes im Winter ist.

Nachdem diese 12 Schnitte zur Verfügung standen, wurde eine in meridionaler als auch vertikaler Richtung variable Flächenintegration durchgeführt, mit dem Zweck, gesicherte quantitative Beträge für K_z in der Einheit 10^{15} kJ zur Verfügung zu stellen.

- (2) In einem ersten Schritt wurden solche Energiemengen von K_z für die gesamte Atmosphäre und für jeden Monat separat berechnet (Abb. 13). Es ergab sich ein starker Jahresgang mit

dem Maximum im Februar (etwa $240 \cdot 10^{15}$ kj) und dem Minimum im Juli (etwa $60 \cdot 10^{15}$ kj).

- (3) Dann wurden gleiche Jahresgänge separat für die Troposphäre und die untere Stratosphäre bestimmt (Abb. 14 und 15), wobei sich zeigte, daß der bei weitem überwiegende Teil von K_z in der Troposphäre konzentriert ist (82,3 %), und der Jahresgang in der Stratosphäre nur im Sommer hohe Werte aufweist.
- (4) In einem weiteren Schritt wurde der gesamte atmosphärische Bereich in einen solchen mit Westwinden und einen weiteren mit Ostwinden zerteilt, mit dem Ergebnis, daß fast die gesamte Menge von K_z im Westwindbereich konzentriert ist (Abb. 16 und 17).
- (5) Eine noch genauere Unterteilung betraf im weiteren Vorgehen West- und Ostwindbereich, aber nunmehr getrennt für die Troposphäre und die untere Stratosphäre. Als Trennung in vertikaler Richtung diente dabei - wie vorstehend - die exakte Lage der Tropopause in den einzelnen Monaten. Für die Troposphäre ergaben sich wieder ausgeprägte Jahresgänge für den West- und Ostwindbereich, wobei der erstere abermals dominant war (Abb. 18 und 19).
- (6) Ebenfalls ausgeprägte Jahresgänge brachte im folgenden die Aufteilung der Stratosphäre in ihren West- bzw. Ostwindsektor (Abb. 20 und 21). Hierbei ergab sich im stratosphärischen Ostwindbereich ein inverser Jahresgang zu den bisher erwähnten Gängen, nämlich maximale Werte im Sommer, minimale im Winter. In Tabellenform werden alle diese Ergebnisse in der Tabelle 8 zusammengefaßt.
- (7) In einem weiteren Großkapitel wurde im Anschluß die meridionale Integration verfeinert, wobei jetzt im Unterschied zum früheren Vorgehen nicht mehr zwischen Äquator und Nordpol integriert wurde, sondern für einzelne Breitenzonen von je 5 Breitengraden Weite. Dadurch erhält man eine mengenmäßige Angabe für K_z als Funktion der Breite. Derartige Verteilungen wurden sowohl für die gesamte Atmosphäre, als auch

für 5 unterschiedlich mächtige und entlang der Vertikalen meteorologisch sinnvoll gewählte Stockwerke der Atmosphäre der Nordhalbkugel vorgelegt. Wie schon aus den früheren Abbildungen 1 bis 12 erkennbar war, ergaben sich für die troposphärischen Bereiche mengenmäßig die größten Beträge von K_z und eine starke Variation mit der Breite mit dominierenden Maxima im südlichen Teil der gemäßigten Breiten (Subtropenjet) und im Sommer auch über subtropischen Breiten vor allem in der Stratosphäre (Ostwindzirkulation) sowie im Winter über hohen Breiten (Polarnachtjet) (siehe die Abb. 22 bis 27).

- (8) Das letzte Kapitel der Untersuchung liefert eine möglichst genaue Abschätzung darüber, wie sich die zonale kinetische Energie K_z auf die drei Haupt-Luftmassenkörper (Polarluft, Luftmasse der gemäßigten Breiten, Tropikluft) verteilt. Hierzu war eine genaue Kenntnis der Lage der diese Breite voneinander trennenden Subtropen- bzw. Polarfront erforderlich, welche durch die Temperaturschnitte von Fr. DEFANT zur Verfügung stand. Das Ergebnis war, daß alle drei Luftkörper einen Jahresgang aufweisen mit maximalen Werten im Winter und minimalen im Sommer, der Energiegehalt der Tropikluft fällt aber wesentlich größer aus als jener der gemäßigten Luftmasse. Dieser ist wiederum erheblich größer als jener der Polarluft (Abb. 28 bzw. Tab. 9).

Im Zusammenhang mit der Arbeit von EBBRECHT über die zonale verfügbare Energie A_z soll noch das Verhältnis der Energieformen A_z und K_z Erwähnung finden. Das Verhältnis zwischen dem Jahresmittel der zonalen kinetischen Energie K_z zu dem von H.G. EBBRECHT errechneten korrespondierenden Wert für die zonal verfügbare potentielle Energie A_z beträgt:

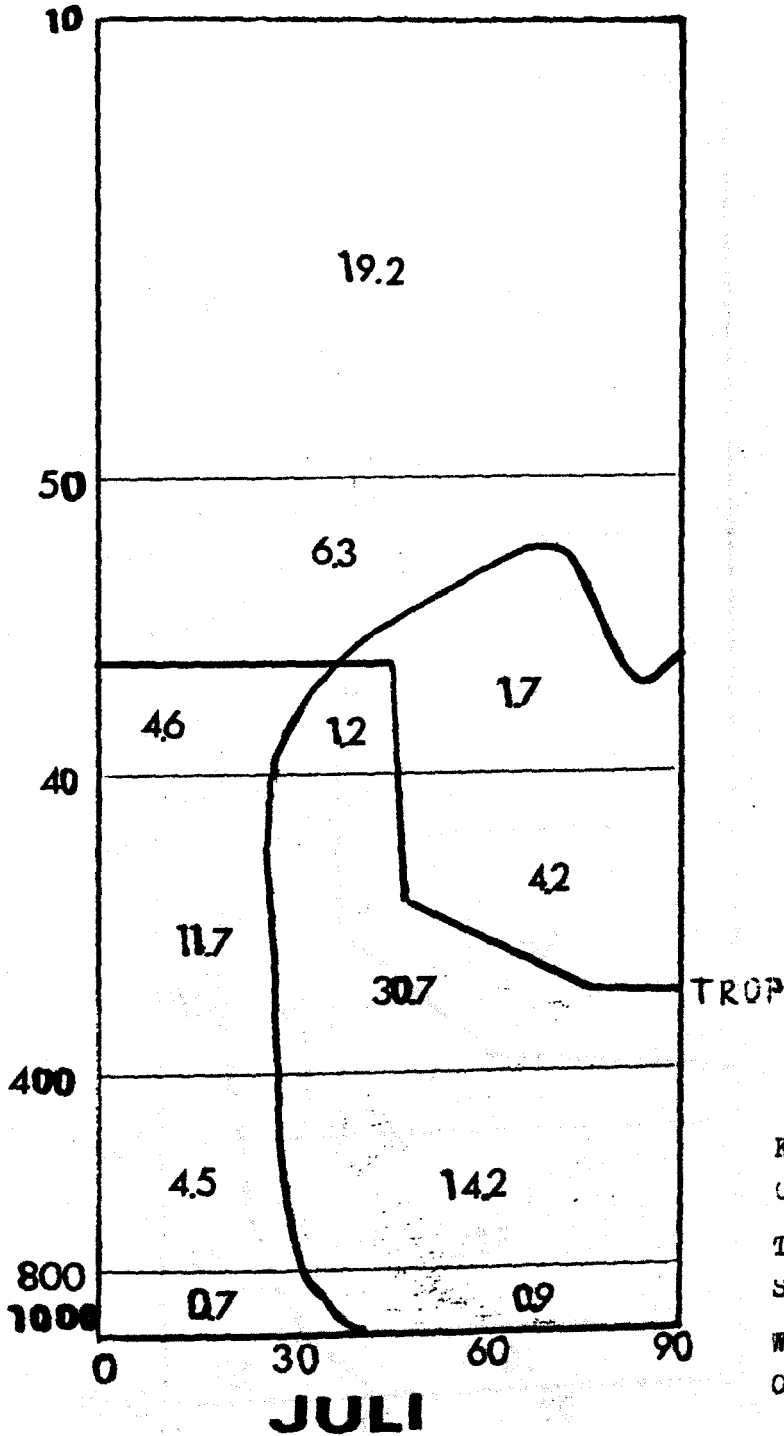
$$\frac{K_z}{A_z} = \frac{1,66 \cdot 10^{21} \text{ Joule}}{9,81 \cdot 10^{21} \text{ Joule}} = 1 : 5,92$$

Dies zeigt, daß die Atmosphäre selbst im Jahresmittel ein gewaltiges Reservoir an verfügbarer potentieller Energie in sich birgt.

Ein zusammenfassender Bericht über die Ergebnisse beider Untersuchungen betreffend die zonale kinetische bzw. zonal verfügbare potentielle Energie des Planetarischen Wirbels (10jähriges Mittel) ist einer Publikation in einer Fachzeitschrift vorbehalten.

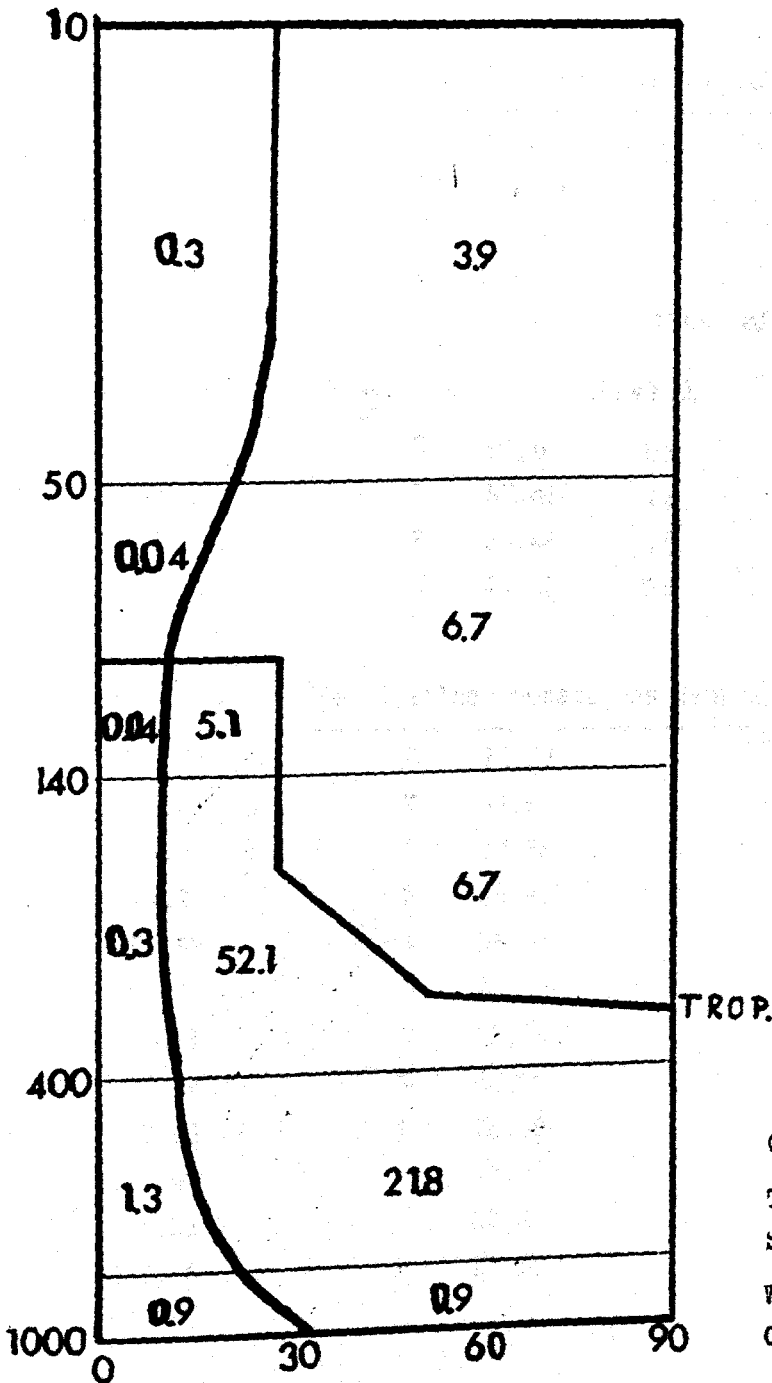
Abschließend soll noch ein Vergleich der in dieser Arbeit gewonnenen Werte von K_z mit jenen anderer Autoren erfolgen: Es zeigt sich, daß van MIEGHEM (1973) und NEWELL (1974) mit $1,35 \cdot 10^{18}$ kJ bzw. $1,18 \cdot 10^{18}$ kJ größenordnungsmäßig gleiche Ergebnisse für die Jahresgesamtsumme von K_z erhielten, diese aber um 18,7 % bzw. 28,9 % kleiner sind als in der vorliegenden Untersuchung. Hierfür kommen vor allem 2 Ursachen in Betracht: Zum einen, daß die Arbeiten von van MIEGHEM und NEWELL nur die Atmosphäre bis zur 100 mb-Fläche betrachteten und somit die kinetische Energie des Polaren Nachtjets und der sommerlichen stratosphärischen Ostwindzirkulation fast nicht einbeziehen und zum anderen deren nicht so umfangreiches Datenmaterial. Die Tabelle 10 enthält für die Jahresgesamtsumme und Jahreszeitenmittelwerte die Vergleichszahlen von van MIEGHEM und NEWELL.

Anschließend wird in zwei Abbildungen noch einmal veranschaulicht, wie sich die mengenmäßige Aufteilung von K_z in der gesamten Atmosphäre aufwärts bis zur 10 mb-Fläche gestaltet. Alle Zahlen sind Prozentangaben der Jahresgesamtsumme von $1,66 \cdot 10^{21}$ Joule.



K_z in 10^{15} Kilojoule
 Ges. Atm.: 57,2 (100 %)
 Trop. : 39,2 (68,5)
 Strat. : 18,0 (31,5)
 Westw. : 30,3 (53,0)
 Ostw. : 26,9 (47,0)

Übersicht über die Menge von K_z in % der Monatsgesamtsumme
 enthalten in 5 meteorologisch bedeutsamen Schichten der
 Atmosphäre, der Tropo- und Stratosphäre sowie deren Ost-
 und Westwindbereich.



K_2 in 10^{15} Kilojoule
 Ges. Atm.: 238 (100 %)
 Trop. : 196 (82,3)
 Stat. : 42 (17,7)
 Westw. : 231 (97,1)
 Ostw. : 7 (2,9)

JANUAR

Übersicht über die Menge von K_2 in % der Monatsgesamtsumme
 enthalten in 5 meteorologisch bedeutsamen Schichten der
 Atmosphäre, der Tropo- und Stratosphäre sowie deren Ost-
 und Westwindbereich.

Tabelle 10

Energiesummen von K_Z für das ganze Jahr, für Jahreszeiten und für die Einzelmonate sowie Jahreszeitemittelwerte [10^{18} Joule] bzw. [10^4 Joule pro m^2] Gesamtfläche der Nordhalbkugel = $2,5503 \cdot 10^{14} m^2$

Energiesummen von K_Z über 4 Jahreszeiten (von je 3 Monaten):

Winter:	701,58	≅	275,09
Frühling:	436,47	≅	171,14
Sommer:	179,51	≅	70,41
Herbst:	340,67	≅	133,58

1000 bis 100 mb

Jahreszeitemittelwerte von K_Z :			Newell	van Mieghem	
Winter:	233,86	≅	91,69	69	70
Frühling:	145,49	≅	57,05	42	50
Sommer:	59,84	≅	23,46	15	16
Herbst:	113,56	≅	44,52	28	30

Energiesummen von K_Z für die einzelnen Monate des Jahres

1	237,91	≅	93,29
2	241,01	≅	94,50
3	202,24	≅	79,30
4	140,31	≅	55,02
5	93,92	≅	36,92
6	63,80	≅	25,02
7	57,21	≅	22,43
8	58,50	≅	22,94
9	72,93	≅	28,59
10	107,41	≅	42,11
11	160,33	≅	62,87
12	222,66	≅	37,30

Energie-
summe
von K_Z
über
alle
Monate

1.658,29

650,23

van Mieghem: 1.346,4

527,93

Newell: 1.178,1

461,94

Für den Bereich
zwischen 1000
und 100 mb.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- CRUTCHER, H.L. and J.M. MESERVE (1970), Selected Level Heights, Temperatures and Dew Points for the Northern Hemisphere, NAVAIR 50 - 1C - 52, Naval Weather Service Command, USA
- DEFANT, Fr. (1978), Compendium of Meteorology, Vol. I, Part 3 - Synoptic Meteorology, WMO - No 364
- DEUTSCHER WETTERDIENST, Datensatz (Aerologische Daten) der gesamten Nordhalbkugel des Deutschen Wetterdienstes, Dr. Dittmann (1968-1972)
- DINIES, E. (1968), Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des Bodenluftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 109, Bd. 15, S. 3-18
- LABITZKE, K. und Mitarbeiter (1969), Climatology of the Stratosphere in the Northern Hemisphere, Inst. f. Meteorologie u. Geophysik d. fr. Universität Berlin, Bd. 100/Hef 4
- LORENZ, E.N. (1967), The Nature and Theory of the General Circulation of the Atmosphere, WMO
- MIEGHEM van (1973), Atmospheric Energetics, Claredon Press, Oxford
- NEWELL, KIDSON, VINCENT, BOER (1974), The General Circulation of the Tropical Atmosphere, The MIT Press, Vol. 1 and 2, Cambridge, Massachusetts and London, England
- OORT, A.H. and E. RASMUSSEN (1971), Atmospheric Circulation Statistics, US Dep. of Commerce, NOAA, Professional paper 5, Rockville USA
- PELTE, R. (1970), Die jahreszeitliche Entwicklung der mittleren Temperatur- und Höhenverteilung sowie der mittleren Verteilung der verfügbaren potentiellen und kinetischen Energie der Atmosphäre der Kugelkappe nördlich 30°N (Mittel 1951 bis 1960), Diplomarbeit, Institut für Meereskunde, Kiel
- REITER, E. (1969), Atmospheric Transport Processes, Part 1, US Atomic Energy Commission

SCHERHAG, R. und Mitarbeiter (1969), Inst. f. Meteorologie und
Geophysik d. fr. Universität Berlin, Met. Abh.,
Bd. 100/Heft 1

WMO /OMM (1965), No 1970, T.P. 84

8. DANKSAGUNG

Die für diese Arbeit benötigten Daten wurden den von
Fr. DEFANT (1972) erstellten 12 mittleren meridionalen
homogenisierten Temperaturschnitten (separat für jeden
Monat des Jahres, siehe auch Einleitung S. 2 bis 3) ent-
nommen. Die Berechnungen (maschinelle Analysen) erfolgten
an einer EDV-Anlage des Rechenzentrums der Universität Kiel.
Mein spezieller Dank gilt Herrn Professor Dr. Fr. Defant
für die zur Verfügungstellung der Grundlagendaten und für
die Betreuung bei der Durchführung der Arbeit sowie der
o.a. Institution für die zur Verfügung gestellten Rechen-
hilfsmittel und die Rechenzeit.